



TITLE:

# 道路路線の形状的な選定に関する 基礎的研究( Dissertation\_全文 )

AUTHOR(S):

岡崎, 義則

---

CITATION:

岡崎, 義則. 道路路線の形状的な選定に関する基礎的研究. 京都大学,  
1982, 工学博士

ISSUE DATE:

1982-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r4670>

RIGHT:

# 道路路線の形状的な選定に関する基礎的研究

昭和56年 9 月

岡 崎 義 則

# 道路路線の形状的な選定に関する基礎的研究

昭和56年 9 月

岡 崎 義 則

## 目 次

## 第 1 章 序 論

1. 1	研究の重要性 .....	1
1. 2	研究の背景と目的 .....	1
1. 3	研究の方法 .....	2
1. 4	平面線形を求める 2 つの方法 .....	2
1. 4. 1	円 固 定 法 .....	2
1. 4. 2	I.P 法 .....	4
1. 4. 3	2 つの方法の比較 .....	4
1. 5	研究の概要 .....	4
1. 5. 1	自動車の走行軌跡の解析 .....	4
1. 5. 2	自動車の走行軌跡の解析 ( S 形 ) .....	5
1. 5. 3	自動車の走行軌跡の解析 ( $\bar{C}$ 形と $\bar{U}$ 形 ) .....	5
1. 5. 4	形状的な選定 .....	5
1. 5. 5	片押し方と内挿法 .....	5
1. 5. 6	数 表 .....	6
1. 6	用語と記号 .....	6
1. 6. 1	平面線形と単位平面線形 .....	6
1. 6. 2	線 形 .....	6
1. 6. 3	線形の記号 .....	6
1. 6. 4	諸要素の分類 .....	6
1. 6. 5	平面線形と数表 .....	7
1. 6. 6	単位平面線形の変換 .....	7
1. 6. 7	$X_m$ の計算法 .....	7
1. 6. 8	自由度と計算条件 .....	7
1. 6. 9	( $Y$ ) の計算法 .....	8
1. 6. 10	相 似 .....	8
1. 6. 11	従来の方法との比較 .....	8
1. 7	論文の構成 .....	9
	参 考 文 献 .....	9

## 第 2 章 曲線部の道路路線の形状に関する研究

2. 1	概 説 .....	10
------	-----------	----

2.2 単 曲 線 .....	10
2.2.1 記号と公式 .....	10
2.2.2 諸要素の分類 .....	11
2.2.3 単曲線表 .....	11
2.2.4 ( $UR, C$ )における諸要素の動き .....	11
2.2.5 自由度 .....	11
2.2.6 計算条件 .....	11
2.2.7 計算法 .....	11
2.2.8 性 質 .....	12
(1) 単曲線と相似 .....	13
(2) 相似の中心 .....	13
(3) 計算条件 .....	13
2.2.9 計算例 .....	13
2.3 クロソイド .....	15
2.3.1 クロソイドの原理 .....	15
2.3.2 クロソイドの応用 .....	16
2.3.3 ( $\bar{K}$ )における諸要素の記号と名称 .....	16
2.3.4 ( $UA, \bar{K}$ )における諸要素の記号と名称 .....	17
2.3.5 諸要素の分類 .....	17
2.3.6 ( $UA, \bar{K}$ )における諸要素の公式 .....	18
(1) 基本式 .....	18
(2) $x, y$ .....	18
(3) $x, y$ 以外の諸要素 .....	19
2.3.7 ( $UA, \bar{K}$ )における諸要素の動き .....	20
2.3.8 自由度 .....	20
2.3.9 計算条件 .....	20
2.3.10 計算法 .....	20
2.3.11 性 質 .....	22
(1) クロソイドの基本式 .....	22
(2) クロソイドと相似 .....	22
(3) 相似の中心 .....	22
(4) 計算条件 .....	22
2.3.12 計算例 .....	22
2.3.13 A 表 .....	24
2.4 単位平面線形の変換 .....	29
2.4.1 単位平面線形の変換 .....	29

2.4.2	( $UR, \bar{K}$ ) の計算例	29
2.4.3	$XY$ 座標と( $UR, \bar{K}$ )	29
2.4.4	測線とクロソイド	33
2.4.5	( $UR, \bar{K}$ ) と単位平面線形	33
2.5	円クロソイド	34
2.5.1	記号と公式	34
(1)	( $UR, C-K$ )	35
(2)	( $C-K$ )	35
2.5.2	広義と狭義	35
2.5.3	諸要素と動き	36
2.5.4	自由度	37
2.5.5	$\theta \tau$ 平面	37
2.5.6	諸要素の分類	38
2.5.7	曲線長の比	38
2.5.8	数表 1	38
(1)	公 式	38
(2)	自由度	39
(3)	表示例	39
(4)	曲線長に関する諸要素の計算法	40
(5)	( $UR, C-K$ ) の計算例	40
(6)	( $C-K$ ) の計算法	40
(7)	( $C-K$ ) の計算例	43
(8)	( $C$ ) の計算例	44
(9)	( $K$ ) の計算例	44
2.5.9	数表 2	44
(1)	公 式	44
(2)	表示例	45
(3)	諸要素の計算法	45
(4)	( $C-K$ ) の計算法	45
(5)	計算条件	45
(6)	( $C-K$ ) の計算例	46
(7)	( $C-K$ ) の計算例	46
2.5.10	円クロソイドの作図法	46
2.6	非対称円クロソイド	49
2.6.1	分 類	49
(1)	曲線長に関する諸要素の記号と名称	49

(2) 曲線長の比 .....	52
(3) $\tau_1/\theta, \tau_2/\theta$ 平面 .....	52
(4) ( $C=K$ ) の分類 .....	55
(5) ( $C=K$ ) の分類, 自動車の走行軌跡と数表 .....	57
2.6.2 狭義の ( $C=K$ ) .....	58
(1) ( $UR, C=K$ ) の諸要素 .....	58
(2) ( $C=K$ ) の諸要素 .....	62
(3) 曲線長に関する公式 .....	62
(4) 計算法 .....	63
2.6.3 広義の ( $C=K$ ) .....	64
(1) 広義の ( $UR, C=K$ ) の公式 .....	64
(2) 広義の ( $C=K$ ) の公式 .....	65
(3) 曲線長の比 .....	65
(4) 電子計算機の公式 .....	65
(5) 諸要素の範囲 .....	66
2.6.4 計算例 .....	66
2.6.5 非対称凸形クロソイド .....	74
2.6.6 単一クロソイド .....	74
2.7 補助測線 .....	82
2.7.1 単曲線 .....	82
(1) 性 質 .....	82
(2) 計算法 .....	82
(3) 計算例 .....	82
2.7.2 凸形クロソイド .....	83
(1) 性 質 .....	83
(2) 計算法 .....	83
(3) 計算例 .....	83
2.7.3 円クロソイド .....	84
(1) 性 質 .....	84
(2) 計算法 .....	84
(3) 計算例 .....	84
2.8 望ましい平面線形の選定 .....	85
2.8.1 対称形 .....	85
2.8.2 非対称形 .....	85
2.9 従来の方法 .....	85
2.9.1 単曲線 ( $C$ ) の解法 .....	85

2.9.2 円クロソイド ( $C-K$ ) の解法 .....	85
(1) 計算法 .....	86
(2) 計算例 .....	86
2.9.3 非対称円クロソイド ( $C=K$ ) の解法 .....	86
(1) 計算法 .....	86
(2) 計算例 .....	87
2.9.4 凸形クロソイド ( $K$ ) の解法 .....	87
(1) 計算法 .....	87
(2) 計算例 .....	87
2.9.5 非対称凸形クロソイド ( $K-\bar{K}$ ) の計算法 .....	88
2.9.6 曲線長の制御 .....	88
2.9.7 ( $C-K$ ) の性質 .....	88
2.10 研究の概要 .....	89
2.11 従来の方法との比較 .....	90
2.12 結 語 .....	91
参 考 文 献 .....	92

### 第3章 異方向に2回曲る道路路線の形状に関する研究

3.1 概 説 .....	93
3.2 分 類 .....	94
3.3 S形の解法 .....	94
3.3.1 S形の計算法 .....	95
3.3.2 S形の計算例 .....	95
3.3.3 計算法の適用範囲 .....	96
3.4 諸要素の比率 .....	98
3.4.1 16種類のS形の選定 .....	98
3.4.2 諸要素の比率 .....	99
3.5 S形の選定法とその評価(その1) .....	103
3.5.1 3種類のS形の選定 .....	103
3.5.2 S形の種類と相対的な大きさの選定法 .....	104
(1) S形の種類の選定法 .....	104
(2) 相対的な大きさの選定法とその評価 .....	105
3.6 S形の選定法とその評価(その2) .....	105
3.6.1 S形の種類と相対的な大きさの選定法 .....	105
3.6.2 S形の種類の選定法とその評価 .....	106
3.7 S形の選定例 .....	106



3.7.1	16 の選定例 .....	106
3.7.2	選定例の計算表 .....	107
3.8	曲線長を制御する解法 .....	116
3.8.1	6 つの線形要素から成立する S 形の計算法 .....	117
(1)	$(\bar{S}) = (C=K)_1 + (C=K)_2$ の計算法 .....	118
(2)	$(S) = (C=K)_1 + (C=K)_2$ の計算法 .....	119
3.8.2	5 つの線形要素から成立する S 形の計算法 ( その 1 ) .....	119
(1)	$(\bar{S}) = (K-\bar{K})_1 + (C=K)_2$ の計算法 .....	120
(2)	$(S) = (K-\bar{K})_1 + (C=K)_2$ の計算法 .....	120
3.8.3	5 つの線形要素から成立する S 形の計算法 ( その 2 ) .....	120
(1)	$(\bar{S}) = (C=K)_1 + (K-\bar{K})_2$ の計算法 .....	120
(2)	$(S) = (C=K)_1 + (K-\bar{K})_2$ の計算法 .....	121
3.8.4	4 つの線形要素から成立する S 形の計算法 .....	121
(1)	$(\bar{S}) = (K-K)_1 + (K-\bar{K})_2$ の計算法 .....	121
(2)	$(S) = (K-\bar{K})_1 + (K-\bar{K})_2$ の計算法 .....	122
3.8.5	6 つの線形要素から成立する S 形の計算例 .....	122
(1)	$(\bar{S}) = (C=K)_1 + (C=K)_2$ の計算例 ( その 1 ) .....	122
(2)	$(S) = (C=K)_1 + (C=K)_2$ の計算例 ( その 2 ) .....	124
3.8.6	解法への応用 .....	126
3.9	研究の概要 .....	126
3.10	従来の解法 .....	127
3.10.1	Osterloh の S 形の解法 ( その 1 ) .....	127
(1)	計算法 .....	128
(2)	計算例 .....	129
(3)	解法の評価 .....	129
3.10.2	S 表による S 形の解法 ( その 2 ) .....	130
(1)	表示の方法 .....	130
(2)	表の使用法とその限界 .....	130
3.10.3	Osterloh の S 形の解法 ( その 3 ) .....	130
(1)	計算条件 .....	133
(2)	計算法の概要 .....	133
(3)	計算例 .....	133
(4)	計算例の照査 .....	136
(5)	解法の適用範囲とその限界 .....	136
3.10.4	S 形の解法 ( その 4 ) .....	138
(1)	計算法 .....	138

(2) 計算例 .....	138
(3) 解法の限界 .....	139
3.11 従来の方法との比較 .....	139
3.11.1 Osterloh の S 形の解法 ( その 1 ) との比較 .....	139
(1) 解法 B の A に対する長所 .....	139
(2) 解法 B の A に対する短所 .....	140
3.11.2 Osterloh の S 形の解法 ( その 3 ) との比較 .....	140
(1) 解法 B の A に対する長所 .....	140
(2) 解法 B の A に対する短所 .....	141
3.11.3 S 形の解法 ( その 4 ) との比較 .....	141
3.11.4 S 形の解法 ( その 1 ～ 4 ) との比較 .....	142
3.11.5 計算例の比較 .....	142
3.12 結 語 .....	142
3.12.1 対称形の平面線形から成立する S 形 .....	142
3.12.2 非対称形の平面線形から成立する S 形 .....	143
参 考 文 献 .....	143

## 第 4 章 同方向に 2 回曲る道路路線の形状に関する研究

4.1 概 説 .....	144
4.2 $\overline{C}$ 形 .....	144
4.2.1 単曲線から成立する $\overline{C}$ 形 .....	144
4.2.2 4 つのクロソイドを持つ $\overline{C}$ 形 .....	144
4.3 U 形 .....	146
4.4 $\overline{U}$ 形 .....	147
4.4.1 記号, 名称と諸要素の公式 .....	147
4.4.2 $(\overline{C})$ , $(\overline{U})$ と $(C-K)$ .....	149
4.4.3 望ましい $\overline{U}$ 形 .....	149
(1) 曲線長の比較 .....	149
(2) $H$ の計算法 .....	150
4.4.4 $\overline{U}$ 形の解法 .....	150
(1) 計算法 .....	150
(2) 計算例 .....	150
4.4.5 Osterloh の卵形の解法 .....	153
(1) 計算法 .....	153
(2) 解法の評価 .....	155
4.4.6 従来解法との比較 .....	155

(1) 円固定法による $\bar{U}$ 形の解法と曲線長の制御 .....	155
(2) 従来の解法との比較 .....	156
4.5 結 語 .....	158
参 考 文 献 .....	158

## 第5章 道路トラバースに対する道路路線の形状的な選定に関する研究

5.1 概 説 .....	159
5.2 ( $C = K$ )の解法 .....	159
5.2.1 計算法 .....	160
5.2.2 計算例 .....	162
5.3 ( $C - K$ )の解法 .....	165
5.3.1 計算法 .....	165
5.3.2 計算例 .....	165
5.4 解法の名称 .....	168
5.5 道路路線の形状的な選定例 .....	168
5.6 ( $C - K$ )の従来の解法 .....	170
5.7 従来の解法との比較 .....	171
5.7.1 ( $C = K$ )の解法 .....	171
5.7.2 ( $C - K$ )の解法 .....	171
5.8 結 語 .....	171
参 考 文 献 .....	172

## 第6章 結 論

参 考 文 献 .....	176
---------------	-----

## 写 真 の リ ス ト

写 1.1 自在定規による平面線形の作図 .....	3
写 4.1 ライン川とアウトバーン .....	157

## 図 の リ ス ト

図 1.1 相似な平面線形 .....	8
図 2.1 $(UR, C)$ .....	11
図 2.2 $(C)$ .....	11
図 2.3 6つの単曲線 .....	12
図 2.4 直線, クロソイド, 単曲線, クロソイド, 直線から成立する平面線形 .....	15
図 2.5 $(\bar{K})$ .....	16
図 2.6 $(UA, \bar{K})$ .....	17
図 2.7 6つのクロソイド .....	21
図 2.8.1 $(UR, \bar{K}) \tau = 0$ .....	30
図 2.8.2 $(UR, \bar{K}) \tau = 15^\circ$ .....	30
図 2.8.3 $(UR, \bar{K}) \tau = 30^\circ$ .....	30
図 2.8.4 $(UR, \bar{K}) \tau = 45^\circ$ .....	30
図 2.8.5 $(UR, \bar{K}) \tau = 60^\circ$ .....	30
図 2.8.6 $(UR, \bar{K}) \tau = 75^\circ$ .....	30
図 2.9 $(UR, C-K)$ .....	34
図 2.10 $(C-K)$ .....	34
図 2.11 $(UR, C)$ .....	35
図 2.12 $(C)$ .....	35
図 2.13 $(UR, K)$ .....	35
図 2.14 $(K)$ .....	35
図 2.15.1 $(UR, C-K)$ .....	36
図 2.15.2 $(UG, C-K)$ .....	37
図 2.15.3 $(UD, C-K)$ .....	37
図 2.16 $\theta \tau$ 平面 .....	38
図 2.17 $(UR, C=K)$ .....	49
図 2.18 $(C=K)$ .....	50
図 2.19 $\tau_1/\theta, \tau_2/\theta$ 平面 .....	52
図 2.20 15の点に対応する $(C=K)$ .....	53
図 2.21 $\theta, k_1 (= \tau_1/\theta), k_2 (= \tau_2/\theta)$ 空間の二等辺直角三角柱 .....	57
図 2.22 $(UR, C=K)$ .....	59

図 2.23	$(C = K)$ .....	59
図 2.24	基準線と曲線長 ( $0 \leq \tau_2 / \theta < 0.5$ の場合) .....	60
図 2.25	基準線と曲線長 ( $0.5 < \tau_2 / \theta \leq 1$ の場合) .....	61
図 2.26	$\tau_1, \tau_2$ と広義の $(UR, C = K)$ .....	64
図 2.27	$k_1, k_2$ と広義の $(UR, C = K)$ .....	66
図 2.28	補助測線と $(C)$ .....	82
図 2.29	補助測線と $(K)$ .....	83
図 2.30	補助測線と $(C - K)$ .....	84
図 2.31	$(C - K)$ の解法 .....	86
図 2.32	$(C = K)$ の解法 .....	86
図 2.33	$(K)$ の解法 .....	87
図 2.34	$(K - \bar{K})$ の解法 .....	88
図 2.35	第 2 章に示した研究の概要図 .....	89
図 3.1	S 形に設置された 3 つの測線 .....	94
図 3.2	3 つの測線と 6 種類の S 形 .....	97
図 3.3	3 つの測線と 6 種類の $\bar{C}$ 形 .....	98
図 3.4	表 3.22 ~ 3.24 に示した諸要素の比率 .....	104
図 3.5	表 3.25 ~ 3.26 に示した諸要素の比率 .....	104
図 3.6	$(S) = (K)_1 + (K)_2$ ( $\tau = \theta / 2$ ) .....	107
図 3.7	$(S) = (C - K)_1 + (C - K)_2$ ( $\tau = \theta / 3$ ) .....	116
図 3.8	$(S) = (C - K)_1 + (C - K)_2$ ( $\tau = \theta / 4$ ) .....	116
図 3.9	$(S) = (C - K)_1 + (C - K)_2$ ( $\tau = \theta / 5$ ) .....	117
図 3.10	$(S) = (C - K)_1 + (C - K)_2$ ( $\tau = \theta / 6$ ) .....	118
図 3.11	$(S) = (K)_1 + (C - K)_2$ .....	118
図 3.12	$(S) = (K)_1 + (K)_2$ ( $\tau = \theta / 2$ ) .....	119
図 3.13	第 3 章に示した研究の概要図 .....	127
図 3.14	$(S) = (\bar{K})_1 + (\bar{K})_2$ .....	127
図 3.15	S 形の計算図 (Osterloh) .....	128
図 3.16.1	S 形の課題 .....	134
図 3.16.2	計算法の概要図 .....	134
図 3.16.3	座標変換 .....	135
図 3.17	$(S) = (C = K)_1 + (C - K)_2$ .....	136
図 4.1	$(S) = (K)_1 + (C - K)_2$ .....	145
図 4.2	$(S) = (K)_1 + (C - K)_2$ のハンドル操作図 .....	146
図 4.3	$(\bar{C}) = (K)_1 + (C - K)_2$ .....	146
図 4.4	$\bar{C}$ 形のハンドル操作図 (理論) .....	146

図 4.5	$\bar{C}$ 形のハンドル操作図 ( 実際 )	146
図 4.6	$(\bar{U}) = (C=K)_1 + (C=K)_2 - 2(\bar{K})_3 + (C)_3$	147
図 4.7	クロソイドが交差する部分の詳細図	147
図 4.8	$(\bar{U}) = (C=K)_1 + (C=K)_2 - 2(\bar{K})_3 + (C)_3$ のハンドル操作図	153
図 4.9	卵 形	153
図 4.10	卵形の計算図 ( Osterloh )	154
図 4.11	$\bar{U}$ 形の参考図	156
図 4.12	ドイツのアウトバーンにおけるハンドル操作図の事例	157
図 4.13	$(S) = (C-K)_1 + (C-K)_2$ のハンドル操作図	158
図 5.1	$(C=K)$	160
図 5.2	$(UD, C-K)$ のパラメーター	164
図 5.3	$(UD, C-K)$ の曲率半径	166
図 5.4	$(C-K)_0 + (S)$	167
図 5.5	$(C-K)_0 + (S)$ のハンドル操作図	168
図 5.6	ペーパーロケーション	168

## 表 の リ ス ト

表 1.1	$(UX_m, Y)$ および $(Y)$ の諸要素	7
表 1.2	単位平面線形の変換	7
表 2.1	$(UR, C), (C)$ における諸要素の公式	10
表 2.2	ラジアンと度分秒	10
表 2.3	$(UR, C)$ における諸要素の動き	11
表 2.4	$(C)$ の計算条件	11
表 2.5	図 2.3 に示した単曲線の諸要素	13
表 2.6	計算条件と単曲線	13
表 2.7	$(C)$ の計算表	13
表 2.8	単曲線表 $(\theta = 30^\circ)$	14
表 2.9	平面線形とハンドル操作	16
表 2.10	$(UA, \bar{K}), (\bar{K})$ における諸要素の分類	18
表 2.11	$(UA, \bar{K})$ における諸要素の動き	20
表 2.12	$(\bar{K})$ を求める計算条件の数	20
表 2.13	図 2.7 に示したクロソイドの諸要素	22
表 2.14	計算条件とクロソイド	22
表 2.15	$\Delta r/r = 0.040000$ における $(UA, \bar{K})$ の計算表	23
表 2.16	$(\bar{K})$ の計算表	23
表 2.17	単位クロソイド表 $(UA, \bar{K})$ ( $l = 0.975000 \sim 1.000000$ )	25

表 2.18	A 表 ( $A = 55, 60, 65$ )	27
表 2.19	単位平面線形の変換	29
表 2.20	数表 2 ( $l = 0.000 \sim 0.160$ )	31
表 2.21	接線角 $\tau$ と ( $UR, \bar{K}$ )	29
表 2.22	単位平面線形と平面線形の諸要素	39
表 2.23	諸要素の動き	36
表 2.24	$(C-K)$ , $(UR, C-K)$ における曲線長の比	38
表 2.25	変数 $m$ と $(C-K)$ , $(UR, C-K)$ における曲線長の比	39
表 2.26	$l$ と $\theta$ の関係	39
表 2.27.1	数表 1 の表示例 (左の頁)	39
表 2.27.2	数表 1 の表示例 (右の頁)	40
表 2.28	数表 1 ( $\theta = 0^\circ 00' \sim 3^\circ 00'$ )	41
表 2.29	諸要素を求める係数	40
表 2.30	$\theta = 30^\circ$ における $(UR, C-K)$ の諸要素	43
表 2.31	内挿法の計算	43
表 2.32	$(UR, C-K)$ , $(C-K)$ の計算表	43
表 2.33	$(C)$ の計算表	44
表 2.34	$(K)$ の計算表	44
表 2.35	数表 2 の表示例	45
表 2.36	計算条件と解法	45
表 2.37	計算条件と解法	45
表 2.38	$(C-K)$ の公式	46
表 2.39	内挿法の計算表	46
表 2.40	$(C-K)$ の計算表	47
表 2.41	$(UR, C-K)$ , $(C-K)$ の計算表	47
表 2.42	曲線長に関する諸要素	50
表 2.43	変換 $\theta$ , $\tau_1, \tau_2, k_1, k_2, m, n, a, b$ と曲線長の比	51
表 2.44	変数 $m, n$ と曲線長の比	54
表 2.45	$m = 4$ における変数 $n$ と曲線長の比	55
表 2.46.1	$(C=K)$ の分類 (その 1)	55
表 2.46.2	$(C=K)$ の分類 (その 2)	56
表 2.47	$(UR, C=K)$ , $(C=K)$ の諸要素	60
表 2.48	$(UR, C=K)$ , $(C=K)$ に特有の諸要素	60
表 2.49	$(C=K)$ の曲線長に関する諸要素の式	62
表 2.50	$(UR, C=K)$ の曲線長に関する諸要素の式	63
表 2.51	$\theta$ を含む計算条件と解法	63

表 2.52	解法の欄に示した記号の意味 .....	64
表 2.53	$\theta$ を含まない計算条件と解法 .....	64
表 2.54	曲線長の比を求める公式 .....	65
表 2.55	( $UR, C=K$ ) における諸要素の範囲 .....	67
表 2.56	数表 2 から求めた諸要素 .....	67
表 2.57	①②④⑦⑪の点に対応する単位平面線形の計算 .....	67
表 2.58	①②④⑦⑪の点に対応する平面線形の計算 .....	68
表 2.59	③の点に対応する線形の計算表 .....	68
表 2.60	⑤の点に対応する線形の計算表 .....	69
表 2.61	⑥の点に対応する線形の計算表 .....	69
表 2.62	⑧の点に対応する線形の計算表 .....	70
表 2.63	⑨の点に対応する線形の計算表 .....	70
表 2.64	⑩の点に対応する線形の計算表 .....	71
表 2.65	⑫の点に対応する線形の計算表 .....	71
表 2.66	⑬の点に対応する線形の計算表 .....	72
表 2.67	⑭の点に対応する線形の計算表 .....	72
表 2.68	⑮の点に対応する線形の計算表 .....	73
表 2.69	( $UR, K-\bar{K}$ ), ( $K-\bar{K}$ ) の曲線長に関する諸要素の公式 .....	73
表 2.70	$\theta$ を含む計算条件と解法の概要 .....	73
表 2.71	$\theta$ を含まない計算条件と解法の概要 .....	73
表 2.72	①の点に対応する単位平面線形の照査 .....	74
表 2.73	②の点に対応する単位平面線形の照査 .....	75
表 2.74	③の点に対応する単位平面線形の照査 .....	75
表 2.75	④の点に対応する単位平面線形の照査 .....	76
表 2.76	⑤の点に対応する単位平面線形の照査 .....	76
表 2.77	⑥の点に対応する単位平面線形の照査 .....	77
表 2.78	⑦の点に対応する単位平面線形の照査 .....	77
表 2.79	⑧の点に対応する単位平面線形の照査 .....	78
表 2.80	⑨の点に対応する単位平面線形の照査 .....	78
表 2.81	⑩の点に対応する単位平面線形の照査 .....	79
表 2.82	⑪の点に対応する単位平面線形の照査 .....	79
表 2.83	⑫の点に対応する単位平面線形の照査 .....	80
表 2.84	⑬の点に対応する単位平面線形の照査 .....	80
表 2.85	⑭の点に対応する単位平面線形の照査 .....	81
表 2.86	⑮の点に対応する単位平面線形の照査 .....	81
表 2.87	( $C$ ) の計算表 .....	82



表 2.88	$(K)$ の計算表	83
表 2.89	$(C-K)$ の計算表	84
表 2.90	$(C-K)$ の性質	89
表 3.1	49 種類の S 形	95
表 3.2	S 形の計算法と諸要素	95
表 3.3	S 形 $(C)_1 + (C)_2$ の計算	96
表 3.4	⑦ $(C=K)_1 + (C=K)_2$ の比率	99
表 3.5	S 形 $(C=K)_1 + (C=K)_2$ から, 他の種類の S 形を求める方法	99
表 3.6	② $(K)_1 + (K)_2$ の比率	99
表 3.7	④ $(C-K)_1 + (C-K)_2$ の比率	100
表 3.8	⑤ $(K-\bar{K})_1 + (K-\bar{K})_2$ の比率	100
表 3.9	⑮のイ) $(K)_1 + (C-K)_2$ の比率	100
表 3.10	⑮のロ) $(C-K)_1 + (K)_2$ の比率	100
表 3.11	⑯のイ) $(K)_1 + (K-\bar{K})_2$ の比率	100
表 3.12	⑯のロ) $(K-\bar{K})_1 + (K)_2$ の比率	100
表 3.13	⑰のイ) $(K)_1 + (C=K)_2$ の比率	101
表 3.14	⑰のロ) $(C=K)_1 + (K)_2$ の比率	101
表 3.15	㉓のイ) $(C-K)_1 + (K-\bar{K})_2$ の比率	101
表 3.16	㉓のロ) $(K-\bar{K})_1 + (C-K)_2$ の比率	101
表 3.17	㉔のイ) $(C-K)_1 + (C=K)_2$ の比率	101
表 3.18	㉔のロ) $(C=K)_1 + (C-K)_2$ の比率	101
表 3.19	㉔のイ) $(K-\bar{K})_1 + (C=K)_2$ の比率	102
表 3.20	㉔のロ) $(C=K)_1 + (K-\bar{K})_2$ の比率	102
表 3.21	$(C-K)_1 + (C-K)_2$ の比率	102
表 3.22	$(C-K)_1 + (C-K)_2$ の比率	102
表 3.23	$(K)_1 + (C-K)_2$ の比率	102
表 3.24	$(K)_1 + (K)_2$ の比率	103
表 3.25	$(S) = (C-K)_1 + (C-K)_2$ の比率	106
表 3.26	$(S) = (K)_1 + (C-K)_2$ の比率	106
表 3.27	計算例の一覧表	107
表 3.28	$(S) = (K)_1 + (K)_2$ の計算表	108
表 3.29	$(S) = (C-K)_1 + (C-K)_2$ の計算表	108
表 3.30	$(S) = (C-K)_1 + (C-K)_2$ の計算表	109
表 3.31	$(S) = (C-K)_1 + (C-K)_2$ の計算表	109
表 3.32	$(S) = (C-K)_1 + (C-K)_2$ の計算表	110
表 3.33	$(\bar{S}) = (C-K)_1 + (C-K)_2$ の計算表	110

表 3.34	$(\bar{S}) = (C - K)_1 + (C - K)_2$ の計算表	111
表 3.35	$(S) = (C - K)_1 + (C - K)_2$ の計算表	111
表 3.36	$(S) = (K)_1 + (C - K)_2$ の計算表	112
表 3.37	$(\bar{S}) = (K)_1 + (C - K)_2$ の計算表	112
表 3.38	$(\bar{S}) = (K)_1 + (C - K)_2$ の計算表	113
表 3.39	$(S) = (K)_1 + (C - K)_2$ の計算表	113
表 3.40	$(S) = (K)_1 + (C - K)_2$ の計算表	114
表 3.41	$(S) = (K)_1 + (K)_2$ の計算表	114
表 3.42	$(\bar{S}) = (K)_1 + (K)_2$ の計算表	115
表 3.43	$(\bar{S}) = (K)_1 + (K)_2$ の計算表	115
表 3.44	任意の比率を与えて求める S 形の平面線形	117
表 3.45	$(UR, C = K)_1, (UR, C = K)_2$ の計算表	123
表 3.46	$(\bar{S}) = (C = K)_1 + (C = K)_2$ の計算表	123
表 3.47	$(UR, C = K)_1, (UR, C = K)_2$ の計算表	125
表 3.48	$(S) = (C = K)_1 + (C = K)_2$ の計算表	125
表 3.49	$(S) = (\bar{K})_1 + (\bar{K})_2$ におけるパラメーター A の試算表	130
表 3.50	S 表 (S 表の参考図参照)	131
表 3.51	求値表	136
表 3.52	$(UR, C = K)_1, (UR, C = K)_2$ の計算表	137
表 3.53	$(S) = (C = K)_1 + (C - K)_2$ の計算表	137
表 3.54	$(S) = (C = K)_1 + (C - K)_2$ における計算結果の比較	138
表 3.55	$(S) = (K)_1 + (K)_2$ の計算表	139
表 3.56	S 形の解法における従来の方法との比較	141
表 4.1	$(S) = (K)_1 + (C - K)_2$ の計算表	145
表 4.2	$(UR, C = K)_1, (UR, C = K)_2$ の計算表	151
表 4.3	$(S) = (C = K)_1 + (C = K)_2$ の計算表	151
表 4.4	$(\bar{U})$ に特有の諸要素	152
表 4.5	図 4.11 の解説	155
表 5.1	K 表	161
表 5.2	第 1 回試算による $(C = K)$ の計算表	163
表 5.3	第 2 回試算による $(C = K)$ の計算表	163
表 5.4	$(UR, C - K), (C - K)$ の計算表	166
表 5.5	$(S) = (C - K)_1 + (C - K)_2$ の計算表	167
表 5.6	ペーパーロケーションによるトラバース	169
表 5.7	ペーパーロケーションによる平面線形	169
表 5.8	実施設計図に示すトラバース	169

表 5.9	実施設計図に示す平面線形 .....	170
-------	--------------------	-----

# 第1章 序 論

## 1.1 研究の重要性

道路路線の形状的な選定は、大規模な高速道路から、一般国道、都道府県道にいたるまで、計画と建設の過程を通じて道路建設の成否を決める最も重要な要素であり、道路管理者に与えられた社会的な責務である。すなわち道路路線の形状的な選定の良否は、道路交通の安全性と迅速性、自然的な地形ならびに、人為的な都市地域形態との調和、道路の建設費および地権者を含む地域住民と関係者に対する説得力において、支配的な影響力を持っている。

交通の安全性と所定の迅速性を有する道路路線を、自然的な地形ならびに、人為的な地域形態とできるだけ調和させることによって、より経済的な、そして地権者を含む地域住民と関係者に対して、より説得力のある道路路線を選定しなければならない。これらの要件を満足する道路路線の形状的な選定である場合、道路管理者は、建設大臣による道路事業の認定を受けて、道路建設のために必要とする土地について、土地収用法（法律第219号）を適用することができる。これらの要件を満足しない場合、道路管理者は、道路建設のために必要とする土地の取得について、困難を極めることとなるだけでなく、最悪の場合、道路建設の計画自体を断念しなければならない。これは、たんに当該道路の建設の取止め、国費の不必要な出費だけにとどまらず、わが国の産業と生活の基盤整備を目的とする道路建設行政に対する、関係住民の不信感を醸成することとなる。

## 1.2 研究の背景と目的

現在、わが国における道路路線の形状は、3つの線形要素、すなわち直線、単曲線（円弧）、緩和曲線としてのクロソイドから構成されている。

クロソイドは、1880年、E. Holbrookによって、その基本式が発表された<sup>1)</sup>。当時から、自動車が走行する道路路線の緩和曲線として理想的な曲線であるとされていたが、数学的に難解であることから、クロソイドを多少修正した曲線またはクロソイドに似た他の種類の曲線が実用上の緩和曲線として用いられていた。しかし、計算法が順次簡素化されて、1930年代に延長7500Kmに及ぶドイツのアウトバーンに採用されて以来、実用上でも、直線、単曲線に次ぐ第3の線形として脚光をあびることとなった。わが国では、昭和30年代、名神高速国道の建設に先立って、クロソイドの技術がドイツから移入されて以来、道路の緩和曲線として、一般に用いられている<sup>2)</sup>。文献3)は、わが国におけるクロソイドを緩和曲線として用いた道路路線の形状的な選定法を示した標準的な解説書である。

直角座標におけるクロソイドの位置を決める $x, y$ の値は、級数に展開しなければならない。したがって、19世紀の初頭では、数学的に難解であるとされていた。しかし電子計算機が開発され、また電

子計算機を用いて求められたクロソイドの数表が発表されている現在では、クロソイド自体の計算について、困難な点はない。道路路線の形状的な選定をするにあたって、現在の課題であるとされているのは、道路路線を構成する3つの線形要素（直線、単曲線、クロソイド）の組合せが、自動車の走行にとって、何が最適であるか、また、どこまで許容しうるかなどの定量的な把握が、十分に行なわれていないことである。理論と経験のうえに立って、これらの問題を定量的に把握し、それを基準化し、新しく計画された道路に適用してゆくことおよび計算法を簡素化すること、これが今後に残された道路技術者の課題であるとされている<sup>4)</sup>。本研究は、この課題に対して、新しい方向づけを試みた論文である。

### 1.3 研究の方法

本研究は、研究の題目に示すように、道路路線の形状的な選定に関する研究である。従来ドイツにおいて、この種の研究について、多種多様なアプローチがなされている。しかし、1.2に述べた道路路線の形状的な選定に関する現在の課題に対して、それらは比較的ランダムな取り組み方をされているように思われる。著者が本論文に示した研究の方法は、自動車の走行軌跡の解析（自動車が任意の角度りだけ方向転換をするときのすべての走行軌跡の解析とその応用）と、その解析の結果による道路路線の形状的な選定である。このような研究の方法によって、1880年に発表されたE.Holbrookによるクロソイドの基本式が生れている。自動車の走行軌跡と無関係に、道路路線の形状的な選定法を論ずることはできない。

道路路線の形状を決める3つの線形要素のどのような組合せが、自動車の走行にとって適当であり、そして不適当であるか、このような現在の課題に対する回答も、同じ研究の方法によって得られるものと確信している。以上が本論文における研究の方法であり、オーソドックスな研究の方法であるといえよう。

### 1.4 平面線形を求める2つの方法

道路路線の形状を決める平面線形を求める方法は、次の2つに大別することができる。

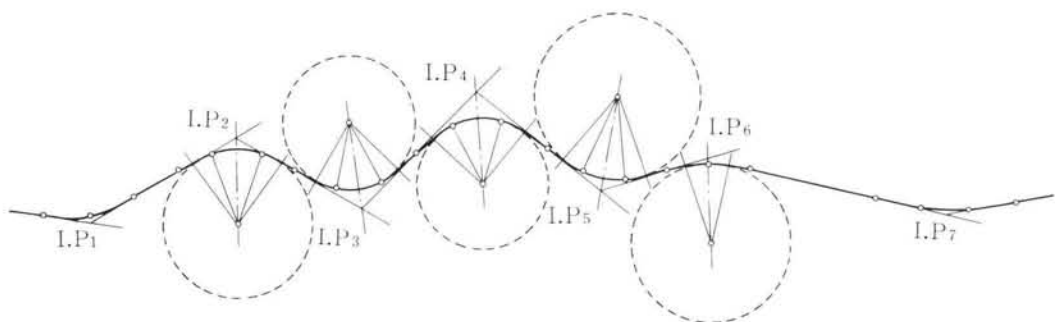
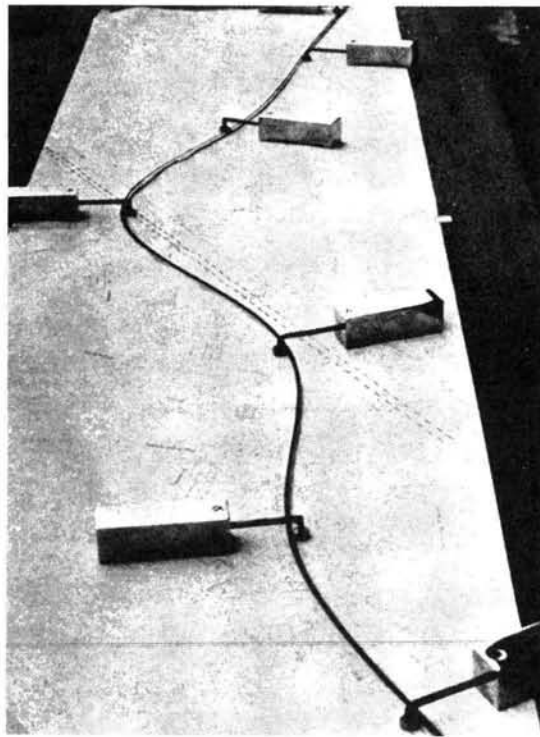
イ) 固定されたいくつかの円に対して、平面線形を求める方法

ロ) 道路トラバースに対して平面線形を求める方法

一般に、イ)の方法は円固定法、ロ)の方法はI.P法と呼ばれている。円固定法は、日本道路公団、本州四国連絡橋公団などで、またI.P法は、首都高速道路公団、道路公社、一般国道、都道府県道などで用いられている。したがって、建設される道路路線の延長で、2つの方法を比較すると、I.P法によって建設される道路の延長は、円固定法による延長に比べると、はるかに長い。ここに、2つの方法の概要について述べよう。

#### 1.4.1 円固定法

道路路線の形状的な概略の選定をするためには、写真1.1<sup>5)</sup>に示した自在定規によって、おおよその平面線形を描く方法が最も適当であるとされている。この方法で平面図の上に描かれた平面線形上の無数の点には、それらの点における曲率半径が対応する。これらの曲率半径は、局部的に平面線形上の点または曲線（円弧）上で最小となる。したがって、写真1.1の方法で描かれた平面線形には、平面線形におけるこれらの点または円弧（単曲線）を通り、局部的に曲率半径を最小とするいくつかの円が存在する。このようにして得られたいくつかの円相互間を、単曲線を除く2つの線形要素、すなわち、直線とクロソイドで結ぶことによって道路路線の平面線形を求める方法は、一般に、円固定



（写真1.1の参考図）

写真1.1\* 自在定規による平面線形の作図

\* 文献5) p.41 を参照されたい

法と呼ばれている。

#### 1.4.2 I. P 法

円固定法の場合と同様に、写真 1.1 の方法で平面図の上に描かれた平面線形には、平面線形における変曲点を通り、平面線形に平行ないくつかの直線（測線または道路トラバース）が存在する。このようにして得られた道路トラバース相互間を、直線を除く 2 つの線形要素、すなわち、単曲線とクロソイドで結ぶことによって道路路線の平面線形を求める方法は、一般に、I. P 法と呼ばれている。

#### 1.4.3 2 つの方法の比較

円固定法を A、I. P 法を B として、これら 2 つの方法を比較しよう。一般に、B は従来<sup>5)</sup>の方法、A は現代の方法であるといわれている。したがって、B はあまり研究の対象となっていないように思われる。本論文に示した研究の方法は B である。A、B それぞれ長所と短所を持っており、簡単にこれら 2 つを比較して論ずることはできない。しかし、道路技術者に課せられた現在の課題に対して、比較的容易に回答が得られる方法は、A よりむしろ B であろうと思われる。著者が現在の課題に対して、回答を求める方法として、ランダムな方法であると思われると述べているのは A である。また、オーソドックスな方法であると思われると述べているのは、B である。この理由の概要について述べよう。

イ) この種の研究にあたって、さけることができないと思われる研究課題は、自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡の解析とこれらのうちから、道路路線の形状として望ましい走行軌跡を道路路線の平面線形として選定することである。この研究課題に対する回答は、B によって得られる。しかし、A によって求めることは極めて困難である。

ロ) イ) に述べた研究課題の次に、さけることができないと思われる研究課題は、自動車が連続して 2 回、同方向または異方向に方向転換をするときのすべての走行軌跡の解析と、それらの中から道路路線の形状として望ましい走行軌跡を道路路線の平面線形として選定することである。この研究課題に対する回答も、B によって得られる。しかし、A によって求めることは極めて困難である。

ハ) 現在の課題に対する資料として、まず道路路線の形状を決める 2 つの線形要素（単曲線とクロソイド）の曲線長を容易に制御できる方法を開発しなければならない。従来、2 つの線形要素から構成される 3 つの曲線長を制御できる方法が開発されている。この方法は、B である。また本論文に提案した 4 ～ 7 つの曲線長を制御する方法も、B である。A では、2 つの曲線長は容易に制御できる。しかし、3 ～ 7 つの曲線長を制御することは極めて困難である。

## 1.5 研究の概要

本論文に示した研究の概要について述べよう。

### 1.5.1 自動車の走行軌跡の解析

道路路線の形状的な選定をするにあたって、まず取り組まなければならないと思われる研究課題は、

自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡の解析である。この解析について、従来ドイツにおいて、相当のアプローチがなされている。しかし、それらの全体を掌握するに至っていない。ここにおいて著者は、次の条件を満足する公式〔以下、 $(\bar{Y})$  の公式と呼ぶ〕を開発して本論文に示した。

イ) 単曲線とクロソイドに共通する公式であること。

ロ) 自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡〔以下、 $(\bar{Y})$  で示す〕を表現できる公式であること。

そして、さらに、次のことを示した。

イ)  $(\bar{Y})$  は 7 種類：単曲線 ( $C$ )、凸形クロソイド ( $K$ )、クロソイド ( $\bar{K}$ )、円-クロソイド ( $C-K$ )、非対称凸形-クロソイド ( $K-\bar{K}$ )、単-クロソイド ( $C-\bar{K}$ ) および非対称円-クロソイド ( $C=K$ ) に分類できること。なお、これらの平面線形は一般に  $(Y)$  で示す。

ロ) 自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡は、これら 7 種類以外には存在しないこと。

ハ) 単位平面線形 ( $UR, Y$ ) は、三角柱における点と 1 対 1 で対応すること。ここに  $(UR, Y)$  は、曲率半径  $R$  を単位とする平面線形 ( $Y$ ) の単位平面線形の記号である。

本論文には、数表を用いて、または、 $(\bar{Y})$  の公式を電子計算機に入力することによって、従来の単曲線も含めて、自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡が得られる解法を示している。この解法を用いると、7 種類の平面線形相互間の諸要素の関係を容易に理解し、そして掌握することができる。

### 1.5.2 自動車の走行軌跡の解析 (S 形)

自動車が連続して異方向に 2 回  $\theta_1, \theta_2$  だけ方向転換をするときの走行軌跡 (以下、S 形と呼ぶ) は、 $(\bar{Y})$  が 7 種類に分類されていることから、 $49 (=7 \times 7)$  種類となる。

道路トラバースにおいて、隣接して S 形に配置された 3 つの測線に対して、S 形を構成する 2 つの平面線形  $(Y)_1, (Y)_2$  における任意の要素を任意の比率  $N$  に制御して、49 種類の S 形を求める計算法を開発して本論文に示した。従来、I.P 法では、S 形は計算不可能であるとされている<sup>3)</sup>。

### 1.5.3 自動車の走行軌跡の解析 ( $\bar{C}$ 形と $\bar{U}$ 形)

自動車が連続して同方向に 2 回  $\theta_1, \theta_2$  だけ方向転換をするときの走行軌跡 (以下、 $\bar{C}$  形と呼ぶ) は、 $(\bar{Y})$  が 7 種類に分類されていることから S 形と同様 49 種類となる。この  $\bar{C}$  形も 1.5.2 に示した S 形と同じ計算法で求めることができる。ただし、 $\bar{C}$  形には、S 形には見られない自動車の走行上の問題点のある平面線形が含まれている。この問題点を解消するために、 $\bar{U}$  形の計算法を開発して本論文に示した。従来 I.P 法では、 $\bar{U}$  形は計算不可能であるとされている<sup>3)</sup>。

### 1.5.4 形状的な選定

1.5.1 ~ 1.5.3 に示した自動車の走行軌跡のうちから、道路路線の形状として望ましいであろうと考えられる平面線形を選定して示した。

### 1.5.5 片押し方と内挿法



一般に、 $n$  個の道路トラバースに対して、1.5.4 で選定した S 形と  $\bar{U}$  形を適宜配置し、さらに、これらの間を補完するための方法として、1.5.1 から選定した平面線形 ( $Y$ ) を片押し方または内挿法で配置する計算法を開発して本論文に示した。

### 1.5.6 数 表

次のような特色を持つ数表を作成して本論文に示した。

- イ) 従来から一般に市販されている単曲線表は、道路交角  $\theta$  を変数として、3 つの諸要素の値(曲線長、外線長、接線長)を表示している。これと同様に、道路交角  $\theta$  とクロソイドの接線角  $\tau$  を変数として3つの諸要素の値(移程量、外線長、接線長)を表示することによって、実施設計図を作成するために必要十分な10個の諸要素の値が比較的容易に得られる数表を示した。
- ロ) この数表を用いると、単曲線、凸形クロソイドおよび単曲線長のクロソイド長に対する比率を0.5, 1.0, 1.5, 2.0とする6種類の円-クロソイドが得られる。
- ニ) この数表は、( $\bar{Y}$ )の公式を用いて作成している。したがって、6種類の平面線形相互間の諸要素の関係を容易に理解することができる。

## 1.6 用語と記号

著者は、本論文において、次のように用語と記号を統一することによって、論旨を明確にするとともに、表現を簡素化した。また、次に述べる事項は、本論文に示した平面線形に共通する性質であるということもできる。

### 1.6.1 平面線形と単位平面線形

単曲線、円-クロソイド、凸形クロソイド、非対称円-クロソイド、非対称凸形クロソイドおよびクロソイドを一般に平面線形と呼ぶ、またこれらの平面線形を、平面線形の諸要素のうち長さの単位(m)を持つ任意の1つの要素(たとえば半径  $R$ ) で除した線形を単位平面線形と呼ぶ。したがって、たとえば半径  $R$  で除した単位平面線形すなわち  $R$  を単位とする単位平面線形の諸要素を  $R$  倍すると平面線形の諸要素が得られる。

### 1.6.2 線 形

平面線形と単位平面線形を総称して線形と呼ぶ。

### 1.6.3 線形の記号

一般に平面線形を ( $Y$ ) で示す。そして ( $Y$ ) において長さの単位を持つ任意の1つの要素を  $X_m$  とする場合、 $X_m$  を単位とする ( $Y$ ) の単位平面線形を ( $UX_m, Y$ ) で示す。

### 1.6.4 諸要素の分類

平面線形 ( $Y$ ) の諸要素は、それぞれの要素が持つ dimension によって次のように分類することができる。

- イ) 角度の単位(度分秒)を持つ諸要素
- ロ) 長さの単位(m)を持つ諸要素、この諸要素を一般に  $X_n$  で示す。

### ハ) 無次元 (non-dimension) の諸要素

無次元の諸要素はイ) またはロ) の諸要素から得られる諸要素であり、角度の単位を持つ2つの要素の比または長さの単位を持つ2つの要素の比である。

単位平面線形( $UX_m, Y$ )では、 $X_n$  は  $x_n = X_n/X_m$  となる。したがって( $UX_m, Y$ )の諸要素は、次のように分類することができる。

#### イ) 角度の単位(度分秒)を持つ諸要素

#### ロ) $X_n$ を $X_m$ で除した諸要素すなわち $x_n$

### ハ) 無次元 (non-dimension) の諸要素

無次元の諸要素はイ) またはロ) の諸要素から得られる諸要素であり、角度の単位を持つ2つの要素の比または無次元である2つの要素の比である。したがってイ) とハ) に示した諸要素は平面線形( $Y$ )と単位平面線形( $UX_m, Y$ )に共通する諸要素である。 $(Y)$ 、( $UX_m, Y$ )の諸要素を以上のように分類すると( $UX_m, Y$ )および( $Y$ )の諸要素は、( $UX_m, Y$ )の諸要素と  $X_n$  または( $Y$ )の諸要素と  $x_n$  であるといえることができる(表 1.1 参照)。

表 1.1 ( $UX_m, Y$ )および( $Y$ )の諸要素

分類	線形	( $UX_m, Y$ )	( $Y$ )
イ		角度の単位を持つ諸要素	
ロ		$x_n$	$X_n$
ハ		無次元の諸要素	

注)  $x_n$  は無次元である。

### 1.6.5 平面線形と数表

一般に市販されている数表は、平面線形( $Y$ )の単位平面線形( $UX_m, Y$ )の諸要素を示している。したがって( $Y$ )の諸要素は数表に示された( $UX_m, Y$ )の諸要素を  $X_m$  倍すると得られる。この関係を式  $(Y) = X_m(UX_m, Y)$  で示す。

### 1.6.6 単位平面線形の変換

平面線形( $Y$ )において、長さの単位を持つ  $l$  個の諸要素を  $X_1, X_2, \dots, X_m, \dots, X_n, \dots, X_l$ 、これらの諸要素を  $X_m$  で除した諸要素すなわち( $UX_m, Y$ )の諸要素を  $x_1, x_2, \dots, x_m (=1), \dots, x_n, \dots, x_l$  とする場合、( $UX_m, Y$ )の諸要素は、( $UX_m, Y$ )の諸要素を  $(1/x_n)$  倍すると得られる。この計算法を単位平面線形の変換と呼ぶ(表 1.2 参照)。

表 1.2 単位平面線形の変換

線 形	諸 要 素				
( $Y$ )	$X_1$	$X_2$	$X_m$	$X_n$	$X_l$
( $UX_m, Y$ )	$x_1 = X_1/X_m$	$x_2 = X_2/X_m$	1	$x_n = X_n/X_m$	$x_l = X_l/X_m$
( $UX_n, Y$ )	$x_1/x_n$	$x_2/x_n$	$1/x_n$	1	$x_l/x_n$

### 1.6.7 $X_m$ の計算法

$X_m$  を除く( $Y$ )の諸要素および( $UX_m, Y$ )の諸要素が与えられた場合、 $X_m$  は式  $X_m = X_1/x_1$ 、 $X_m = X_2/x_2$ 、 $X_m = X_n/x_n$  または  $X_m = X_l/x_l$  から得られる。これらの式を一般に式  $X_m = X_n/x_n$  で示す。

### 1.6.8 自由度と計算条件

平面線形( $Y$ )の単位平面線形( $UX_m, Y$ )が  $n$  個の変数によってきまる場合、( $UX_m, Y$ )の自

由度は $(n)$ 、 $(Y)$ の自由度は $(n+1)$ である。一般に自由度 $(n+1)$ の平面線形 $(Y)$ は、設計条件として $(UX_m, Y)$  および $(Y)$ の諸要素から任意に選んだ $(n+1)$ 個の諸要素を与えて求めることができる。しかし $n$ 個または $(n+2)$ 個の諸要素を与えて求めることはできない。ただし、 $(n+1)$ 個の諸要素は次に示す3つの条件をすべて満足しなければならない。

イ)  $(n+1)$ 個の諸要素は、 $(Y)$ の諸要素のうち長さの単位を持つ要素  $X_n$  を少なくとも1個含まなければならない。

ロ)  $(n+1)$ 個の諸要素は、式が成立する諸要素を含んではならない。たとえば、式  $A^2=R \cdot L$  の場合、 $A, R, L$  を式が成立する諸要素と呼ぶ。しかし、 $R$ と $L, A$ と $L$ 、または $A$ と $R$ は式が成立する諸要素と呼ばない。

ハ)  $(n+1)$ 個の諸要素は、 $(UX_m, Y)$ における1つの要素である  $x_m(=1)$  を含んではならない。

以上に示した平面線形 $(Y)$ の性質を用いると、 $(Y)$ の自由度、 $(UX_m, Y)$  および $(Y)$ の諸要素、 $(UX_m, Y)$  および $(Y)$ における諸要素相互間の公式から平面線形 $(Y)$ の計算条件を求めることができる。

#### 1.6.9 $(Y)$ の計算法

平面線形 $(Y)$ を、 $(n+1)$ 個の計算条件を与えて、数表 $(UX_m, Y)$ から求める計算法は、次のようである。

イ)  $(UX_m, Y)$ を求める。

ロ) 式  $X_m = X_n/x_n$  から  $X_m$  を求める。

ハ) 式  $(Y) = X_m(UX_m, Y)$  から  $(Y)$  を求める。

ハ) で求める $(Y)$ は、表 1.1 に示した  $X_n$  である。角度の単位を持つ諸要素または無次元の諸要素ではない。

#### 1.6.10 相 似

直線  $OP$  上に  $OP'/OP=k$  となるような点  $P'$  をとり、点  $P$  に対応させる。点  $P$  が平面線形 $(Y)$ 上を動くとき、これに対応する点  $P'$  は平面線形 $(Y)'$ をえがく。この場合 $(Y)'$ は $(Y)$ と相似の位置にあるといい、点  $O$  を相似の中心、そして  $k$  を相似比という

(図 1.1 参照)。

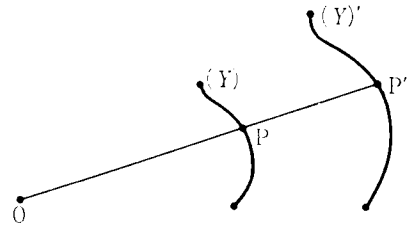


図 1.1 相似な平面線形

平面線形 $(Y)'$ が、平面線形 $(Y)$ と相似の位置にある場合または $(Y)$ と相似の位置にある平面線形と合同な平面線形である場合、 $(Y)'$ は $(Y)$ と相似であるという。

平面線形 $(Y)'$ が、平面線形 $(Y)$ と相似であり、そして相似比を  $k$  とする場合、平面線形 $(Y)'$ 、 $(Y)$ を式  $(Y)'=k(Y)$  で示す。

#### 1.6.11 従来の方法との比較

以上に述べた事項のうち、従来この種の文献に見られない特色のある事項について述べよう。

イ) 自由度と計算条件：与えられた平面図の上に描かれた概略の平面線形と道路トラバースに対して、所定の $(Y)$ を求めようとする場合、道路技術者は、たとえば自由度4の $(Y)$ に対して、4つの計算条件を与えられて、 $(Y)$ を求めることができる。これだけでは十分といえない。種類の $(Y)$ について、それらの計算条件も求めることができないかもしれない。したがって本論文では、計算条件の数、すなわち $(Y)$ の自由度と自由度を求める方法を示している。

ロ) 計算法：従来この種の文献において、計算例を忽然と示しておられる事例がある。これは読者に対して不親切であるといえよう。本論文では、計算例にはその計算法を示した。この計算法は、電子計算機を用いて計算例を求める方法も示している。

ハ) 記号：従来、単曲線は単曲線の数表と公式を用いて、またクロソイドを緩和曲線とする $(Y)$ は、クロソイドの数表と公式を用いて求めていた。しかし、本論文では、単曲線と $(Y)$ は、共通の数表と公式を用いて求めている。したがって従来と多少異なる記号を用いることとなっている。

## 1.7 論文の構成

序論と結論を除き、本論文は、次の3つの部分から構成されている。ただし、イ)には従来の方法も含まれている。

- イ) 従来の方法を参考として著者が開発した方法
- ロ) 従来の方法
- ハ) 著者が開発した方法と従来の方法の比較

## 参 考 文 献

- 1) 近藤，石原，米谷，測量学応用編，丸善，1956, p. 76.
- 2) 池上，東名高速道路，中央公論社，1969, pp. 40～44.
- 3) 星埜，クロソイドポケットブック改訂版，日本道路協会，1977, p. 117.
- 4) 星埜，武部，高速道路線形計算便覧，高速道路調査会，1967, p. 5.
- 5) Lorenz, Trassierung und Gestaltung von Straßen und Autobahnen, Bauverlag, 1971, pp. 41～45.
- 6) 岡崎，単曲線とクロソイドから成立する複合曲線，土木学会誌，1977, vol. 62, pp. 33～39.
- 7) 岡崎，単位円-クロソイド表，山海堂，1974.
- 8) 岡崎，道路中心線の設計法，山海堂，1979.

## 第2章 曲線部の道路路線の形状に関する研究

本章は、自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときの走行軌跡に対応する平面線形について述べたものである。

### 2.1 概 説

本章は、自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡( $\bar{Y}$ )の解析とそれらのうちから道路路線の形状として望ましい平面線形の選定について述べている。(Y)は7種類:単曲線(C), 凸形クロソイド(K), クロソイド( $\bar{K}$ ), 円-クロソイド( $C-K$ ), 非対称凸形クロソイド( $K-\bar{K}$ ), 単-クロソイド( $C-\bar{K}$ )および非対称円-クロソイド( $C=K$ )に分類することができる。まず、これらの平面線形について述べよう。

### 2.2 単 曲 線

緩和曲線を用いない曲線部の平面線形は、一般に単曲線 (Simple Curve) と呼ばれている。これについて述べよう。

#### 2.2.1 記号と公式

単曲線を (C), (C) の半径を  $R$  で示す。(UR, C), (C) の諸要素を図 2.1, 2.2 のようにきめると、これらの諸要素は表 2.1 に示した式から得られる。

表 2.1 (UR, C), (C)における諸要素の公式

諸 要 素	分 類	(UR, C)	(C)
道 路 交 角	イ	$\theta$	
外 線 長	ロ	$\bar{g} = \sec(\theta/2) - 1$	$G = R \cdot \bar{g}$
半 径		$\bar{r} = 1$	$R$
接 線 長		$\bar{d} = \tan(\theta/2)$	$D = R \cdot \bar{d}$
曲 線 長		$lC = \theta$	$LC = R \cdot \theta$
曲線長/半径	ハ	$\theta$	

注) 分類の欄は表 1.1 を参照されたい。

表 2.2 ラジアンと度分秒

$\theta$ (ラジアン)	$\theta$ (度 分 秒)
1/18	3° 10' 59.2''
0.5	28° 38' 52.4''
1.0	57° 17' 44.8''
1.5	85° 56' 37.2''

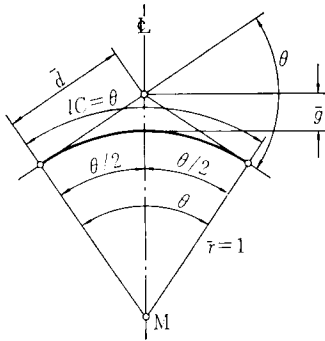


図 2.1 (UR, C)

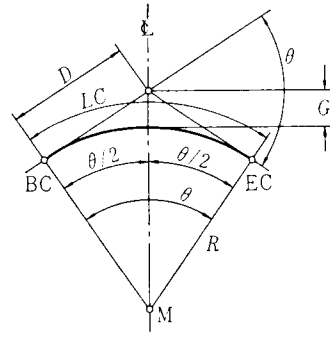


図 2.2 (C)

### 2.2.2 諸要素の分類

(UR, C), (C) の諸要素は表 2.1 のように分類することができる。イの欄に示した  $\theta$  の単位は度分秒である。そしてロとハの欄に示した  $\theta$  の単位は無次元である。無次元の  $\theta$  はラジアン (Radian) の単位で示される場合もある。ラジアンと度分秒の関係について概要を示すと、表 2.2 のようである。

### 2.2.3 単曲線表

単曲線表は (UR, C) における諸要素  $IC=\theta$  (単位は無次元),  $\bar{g}$ ,  $\bar{d}$  を変数  $\theta$  (単位は度分秒) の関数として表示している (表 2.8 参照)。

### 2.2.4 (UR, C) における諸要素の動き

(UR, C) の変数  $\theta$  が始点を  $\theta=0^\circ 00'$ 、終点を  $\theta=120^\circ 00'$  として増加する場合、(UR, C) における諸要素の始点と終点における値ならびに始点から終点にいたる動き (増加または減少) を示すと、表 2.3 のようである。

表 2.3 (UR, C) における諸要素の動き

諸要素	始点の値	動き	終点の値
道路交角 $\theta$	0	+	$120^\circ 00' 00''$
外線長 $\bar{g}$	0	+	1.000000
接線長 $\bar{d}$	0	+	1.732051
曲線長 $IC$	0	+	2.094395

注) 増加は+, 減少は-で示す。

### 2.2.5 自由度

(UR, C) は 1 つの変数  $\theta$  によってきまる。したがって、(UR, C) の自由度は 1、そして、(C) の自由度は 2 である。

### 2.2.6 計算条件

(UR, C) および (C) の諸要素は、 $\theta$ ,  $IC$ ,  $\bar{g}$ ,  $\bar{d}$ ,  $G$ ,  $R$ ,  $D$ ,  $LC$  である。これら 8 つの要素から得られる (C) の計算条件は、表 2.4 のようである。

表 2.4 (C) の計算条件

$\theta, G^*$	$\bar{g}, G$	$\bar{d}, G$	$IC, G$	$G, R$	$R, LC$
$\theta, R^*$	$\bar{g}, R$	$\bar{d}, R$	$IC, R$	$G, D$	$D, LC$
$\theta, D^*$	$\bar{g}, D$	$\bar{d}, D$	$IC, D$	$G, LD$	
$\theta, LC^*$	$\bar{g}, LC$	$\bar{d}, LC$	$IC, LC$	$R, D$	

注) \*印は、一般に用いられている計算条件であることを示す。

### 2.2.7 計算法

計算条件を 2 つに分類することによって、(C) の計算法を示すと、次のようである。

(1) 単曲線表に示されている 1 つの要素 すなわち (UR, C) における 1 つの要素と (C) にお

いて、長さの単位を持つ1つの要素  $X_n$  が与えられる場合および  $(C)$  において長さの単位を持つ2つの要素が与えられる場合のうち、2つの要素から  $(UR, C)$  における1つの要素が得られる場合.

イ)  $(UR, C)$  における1つの要素を用いて  $(UR, C)$  を求める.

ロ) 式  $R = X_n / x_n$  から  $R$  を求める.

ハ) 式  $(C) = R(UR, C)$  から  $(C)$  を求める.

この場合の計算条件の数は19である.

(2)  $(C)$  において長さの単位を持つ2つの要素が与えられる場合のうち2つの要素から  $(UR, C)$  における1つの要素が得られない場合.

イ) 計算条件として与えられた  $(C)$  における2つの要素の比を求める.

ロ) 単曲線表を用いて、 $(UR, C)$  における2つの要素の比がイ) で求めた値となる  $\theta$  を求める.

以上の計算をすると計算条件は(1)に同じとなる. この場合の計算条件の数は3である.

### 2.2.8 性 質

図2.3は、 $XY$  座標に、半径を  $R_1, R_2$ , 道路交角を  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  とする6つの単曲線を、次に示す方法で示した.

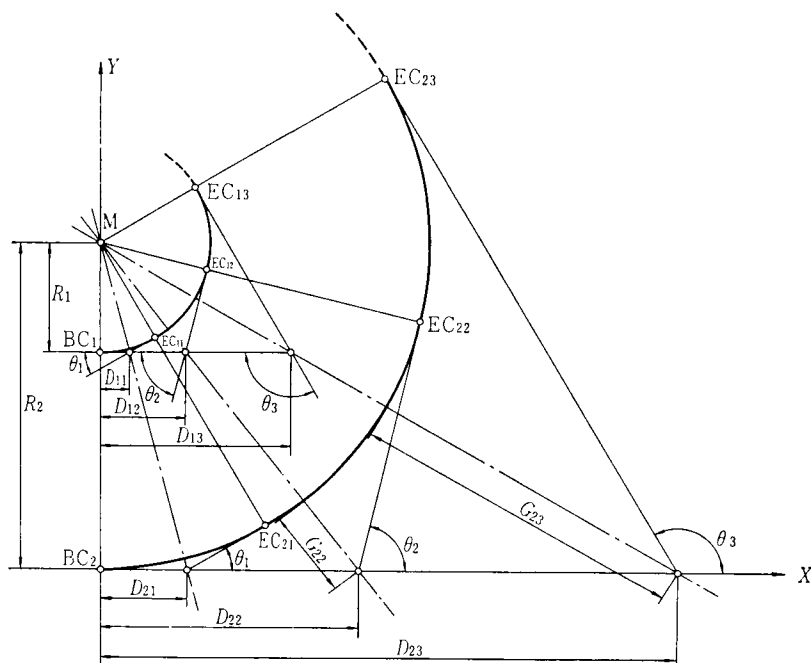


図2.3 6つの単曲線

イ) 単曲線の曲率中心である点  $M$  の座標は  $(0, R_2)$  である.

ロ) 単曲線の始点は  $Y$  軸上の点  $BC_1$  または  $BC_2$  である.

表 2.5 は、単曲線  $(C)_1 \sim (C)_6$  の諸要素である。図 2.3 と表 2.5 を用いて単曲線の性質について述べよう。

### (1) 単曲線と相似

道路交角  $\theta$  を同じとする 2 つの単曲線は相似である。したがって、 $R_2/R_1=N$  と置くと式  $(C)_4 = N(C)_1$ ,  $(C)_5 = N(C)_2$ ,  $(C)_6 = N(C)_3$  が成立する。

### (2) 相似の中心

図 2.3 に示した相似な単曲線  $(C)_4$  と  $(C)_1$ ,  $(C)_5$  と  $(C)_2$ ,  $(C)_6$  と  $(C)_3$  はそれぞれ相似の位置にある。そして、相似の中心は点 M である。

### (3) 計算条件

表 2.5 図 2.3 に示した単曲線の諸要素

単曲線	諸要素	半 径	道路交角	外 線 長	接 線 長	曲 線 長	適 要	
							起 点	終 点
$(C)_1$		$R_1$	$\theta_1$	$G_{11}$	$D_{11}$	$LC_{11}$	$BC_1$	$EC_{11}$
$(C)_2$		$R_1$	$\theta_2$	$G_{12}$	$D_{12}$	$LC_{12}$	$BC_1$	$EC_{12}$
$(C)_3$		$R_1$	$\theta_3$	$G_{13}$	$D_{13}$	$LC_{13}$	$BC_1$	$EC_{13}$
$(C)_4$		$R_2$	$\theta_1$	$G_{21}$	$D_{21}$	$LC_{21}$	$BC_2$	$EC_{21}$
$(C)_5$		$R_2$	$\theta_2$	$G_{22}$	$D_{22}$	$LC_{22}$	$BC_2$	$EC_{22}$
$(C)_6$		$R_3$	$\theta_3$	$G_{23}$	$D_{23}$	$LC_{23}$	$BC_2$	$EC_{23}$

注) 適要欄に単曲線の起点と終点を示す。

表 2.6 計算条件と単曲線

計 算 条 件		単 曲 線	計 算 条 件		単 曲 線
$\theta_1$ ,	$LC_{11}$	$(C)_1$	$\theta_1$ ,	$LC_{21}$	$(C)_4$
$\theta_2$ ,	$D_{12}$	$(C)_2$	$G_{22}$ ,	$R_2$	$(C)_5$
$\theta_3$ ,	$G_{13}$	$(C)_3$	$G_{23}$ ,	$D_{23}$	$(C)_6$

注)  $\theta_1$ ,  $LC_{11}$  を与えて得られる単曲線は  $(C)_1$  である。

表 2.5 に示した諸要素を用いて、単曲線  $(C)_1 \sim (C)_6$  が得られる計算条件の例をそれぞれ 1 つ示すと、表 2.6 のようである。

### 2.2.9 計 算 例

$\theta = 30^\circ$ ,  $LC = 50.0 \text{ m}$  を与えて  $(C)$  を求めよう。

[解] 計算の結果を示すと、表 2.7 のようである(表 2.8 参照)。

表 2.7  $(C)$  の 計 算 表

線 形		$(UR, C)$	$(C)$
諸 要 素			
道 路 交 角		$\theta = 30^\circ 00'$	
外 線 長		$\overline{G} = 0.035276$	$G = 3.369$
半 径		$\overline{R} = 1.000000$	$R = 95.493$
接 線 長		$\overline{D} = 0.267949$	$D = 25.587$
曲 線 長		$\overline{LC} = 0.523599$	$LC = 50.000$

注1)  $R = 50.0/0.523599 = 95.492925$  である。

2)  $X_n$  の単位(m)は省略する。



表 2.8 単曲線表 ( $\theta=30^\circ$ )

30°							
I.A.	C. L.	S. L.	T. L.	I.A.	C. L.	S. L.	T. L.
0	0.523599 0.523696 0.523793	0.035276 0.035290 0.035303	0.267949 0.268001 0.268053	15	0.527962 0.528059 0.528156	0.035884 0.035898 0.035911	0.270289 0.270341 0.270393
1	0.523890 0.523987 0.524084	0.035317 0.035330 0.035343	0.268105 0.268157 0.268209	16	0.528253 0.528350 0.528447	0.035925 0.035939 0.035952	0.270445 0.270497 0.270549
2	0.524181 0.524278 0.524374	0.035357 0.035370 0.035384	0.268261 0.268313 0.268365	17	0.528544 0.528641 0.528738	0.035966 0.035979 0.035993	0.270601 0.270653 0.270705
3	0.524471 0.524568 0.524665	0.035397 0.035411 0.035424	0.268417 0.268469 0.268521	18	0.528835 0.528932 0.529029	0.036006 0.036020 0.036034	0.270757 0.270809 0.270861
4	0.524762 0.524859 0.524956	0.035438 0.035451 0.035465	0.268573 0.268625 0.268677	19	0.529126 0.529223 0.529320	0.036047 0.036061 0.036075	0.270913 0.270965 0.271017
5	0.525053 0.525150 0.525247	0.035478 0.035492 0.035505	0.268729 0.268781 0.268833	20	0.529417 0.529514 0.529610	0.036088 0.036102 0.036115	0.271069 0.271121 0.271173
6	0.525344 0.525441 0.525538	0.035519 0.035532 0.035546	0.268885 0.268937 0.268989	21	0.529707 0.529804 0.529901	0.036129 0.036143 0.036156	0.271226 0.271278 0.271330
7	0.525635 0.525732 0.525829	0.035559 0.035573 0.035586	0.269041 0.269093 0.269145	22	0.529998 0.530095 0.530192	0.036170 0.036184 0.036197	0.271382 0.271434 0.271486
8	0.525926 0.526023 0.526120	0.035600 0.035613 0.035627	0.269197 0.269249 0.269301	23	0.530289 0.530386 0.530483	0.036211 0.036224 0.036238	0.271538 0.271590 0.271642
9	0.526217 0.526314 0.526411	0.035640 0.035654 0.035667	0.269353 0.269405 0.269457	24	0.530580 0.530677 0.530774	0.036252 0.036265 0.036279	0.271694 0.271746 0.271798
10	0.526508 0.526605 0.526702	0.035681 0.035694 0.035708	0.269509 0.269561 0.269613	25	0.530871 0.530968 0.531065	0.036293 0.036306 0.036320	0.271850 0.271902 0.271954
11	0.526799 0.526896 0.526992	0.035722 0.035735 0.035749	0.269665 0.269717 0.269769	26	0.531162 0.531259 0.531356	0.036334 0.036347 0.036361	0.272006 0.272058 0.272111
12	0.527089 0.527186 0.527283	0.035762 0.035776 0.035789	0.269821 0.269873 0.269925	27	0.531453 0.531550 0.531647	0.036375 0.036388 0.036402	0.272163 0.272215 0.272267
13	0.527380 0.527477 0.527574	0.035803 0.035816 0.035830	0.269977 0.270029 0.270081	28	0.531744 0.531841 0.531938	0.036416 0.036429 0.036443	0.272319 0.272371 0.272423
14	0.527671 0.527768 0.527865	0.035843 0.035857 0.035871	0.270133 0.270185 0.270237	29	0.532035 0.532131 0.532228	0.036457 0.036470 0.036484	0.272475 0.272527 0.272579

注)  $I. A. = \theta$ ,  $C. L. = lC$ ,  $S. L. = \overline{g}$ ,  $T. L. = \overline{a}$ である。

## 2.3 クロソイド

クロソイドは最も理想的な緩和曲線であるとされている。これについて述べよう。

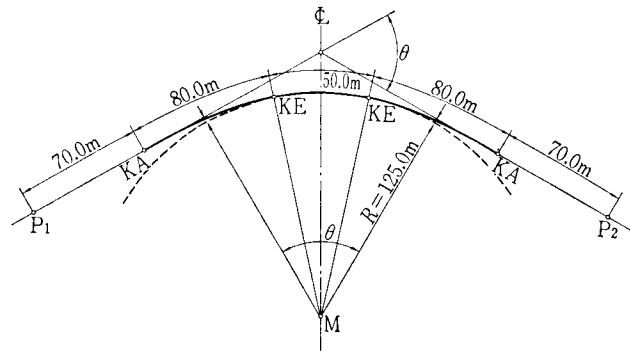
### 2.3.1 クロソイドの原理

自動車のハンドル操作と走行軌跡の関係を用いて、クロソイドの原理について述べよう。

イ) ハンドルを右または左に切っていない状態（以下これを直進ハンドルの状態という）で運転すると、自動車の走行軌跡は直線となる。

ロ) ハンドルを右に一定の角度  $\varphi$ （たとえば  $\varphi = 60^\circ$ ）だけ切った状態で運転すると自動車の走行軌跡は、曲率半径  $R$ （たとえば  $R = 125.0 \text{ m}$ ）の単曲線となる。

一般に、曲率半径が無限大である直線と曲率半径  $R$  の単曲線を直接に結んだ平面線形の道路（図 2.2 参照）では、直線と単曲線が結ばれた点（BC, EC）において、運転者は急激なハンドル操作をしなければならない。これをさけるために直線と単曲線の間に、ある条件を満足する長さ  $L$ （たと



えば  $L = 80.0 \text{ m}$ ）の緩和曲線を 図 2.4 直線、クロソイド、単曲線、クロソイド、直線から成立する平面線形 そう入すると、ハンドル操作は最も快適であるとされている。図 2.4 を参照して、この条件を述べよう。

イ) 直線と結ばれる点 KA における曲率半径は無限大である。

ロ) 曲率半径  $R$  の単曲線と結ばれる点 KE における曲率半径は  $R$  である。

ハ) 点 KA から点 KE に向かって測られた任意の距離  $L$  の点における曲率半径を  $R$  とすると  $L$  と  $R$  の間に式  $A^2 = R \cdot L$  が成立する。

式  $A^2 = R \cdot L$  において、 $R = 125.0 \text{ m}$ 、 $L = 80.0 \text{ m}$  とすると、 $A = 100.0 \text{ m}$  となる。一般に、式  $A^2 = R \cdot L$  が成立する緩和曲線をクロソイドと呼んでいる。クロソイドは最も理想的な緩和曲線であるとされている。この理由は、次のようである。

イ) 自動車を運転しながらハンドルを回転させる場合、ハンドルを等角速度で回転させるのが人間工学上最も快適である。

ロ) 自動車を一定の速度で運転しながら、ハンドルを等角速度で回転させると、自動車の走行軌跡はクロソイドとなる。

図 2.4 は、道路交角  $\theta$  で交わる 2 つの測線に対して、1 つの単曲線と 2 つのクロソイドを用いた平面線形である。この平面線形の始点  $P_1$  から終点  $P_2$  に向かって時速  $36 \text{ km/hr}$  で、

自動車を運転するときのハンドル操作は、表 2.9 のようである。ここに、ハンドルを  $\varphi=60^\circ$  だけ切った状態で運転すると自動車の走行軌跡は  $R=125.0\text{ m}$  の単曲線となることを仮定する。

表 2.9 平面線形とハンドル操作

平面線形	直 線	クロソイド	単曲線	クロソイド	直 線
平面線形の番号	1	2	3	4	5
区 間 長 (m)	70	80	50	80	70
走行時間 (秒)	7	8	5	8	7
ハンドル 操 作	左				
	右				
$\varphi=60^\circ$					

表 2.9 に示した平面線形とハンドル操作の関係を示すと、次のようである。

- イ) 平面線形 1：7 秒間、直進ハンドルの状態を保つ。
- ロ) 平面線形 2：8 秒間、ハンドルを等角速度 ( $60^\circ/8\text{ sec}$ ) で右に回転させる。
- ハ) 平面線形 3：5 秒間、ハンドルを右に  $60^\circ$  切った状態を保つ。
- ニ) 平面線形 4：8 秒間、ハンドルを等角速度 ( $60^\circ/8\text{ sec}$ ) で左に回転させる。
- ホ) 平面線形 5：7 秒間、直進ハンドルの状態を保つ。

### 2.3.2 クロソイドの応用

クロソイドの基本式  $A^2=R\cdot L$  は、E. Holbrook によって初めて導かれ、1880 年 Railroad Gazette に発表された。そして、基本式そのものは理想的な緩和曲線の式であるとされていた。しかし、実用面では相当面倒な計算を必要としたので、性質のよく似た他の種類の曲線が緩和曲線として採用された時代もあった。しかし、計算法が順次簡素化され、1933 年ドイツのアウトバーンに採用されて以来、実用面でも道路の平面線形における直線、単曲線につぐ理想的な第三の線形として脚光をあびることとなった。

このクロソイドは、わが国においても、名神高速道路の建設以来緩和曲線として採用されている。日本道路協会発行の『クロソイドポケットブック』が、この方面の標準的な解説書である。しかし、単曲線に比較するとやはり難解であり、研究の余地も相当に残されているとされている。

### 2.3.3 $(\bar{K})$ における諸要素の記号と名称

クロソイドを  $(\bar{K})$  で示す。 $(\bar{K})$  は一般に図 2.5 のように示されている。これについて述べると、次のようである。

#### イ) 点

O：クロソイド原点、そして、XY 軸の交点

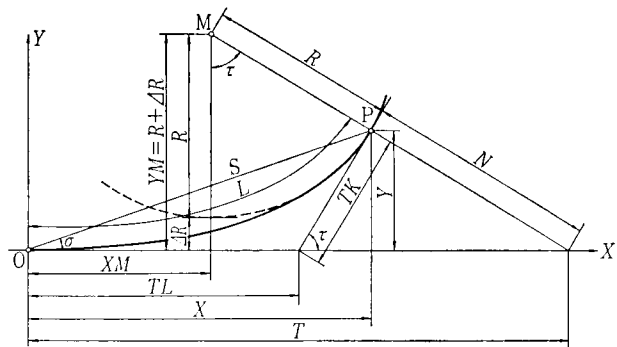
P：クロソイド上の任意の点

M：点 P における曲率の中心

#### ロ) 角度

$\tau$ ：点 P における接線角またはらせん角

$\sigma$ ：点 P の極角

図 2.5  $(\bar{K})$

ハ) 長さの単位を持つ諸要素  $X_n$

$A$ : クロソイドのパラメーター

$L$ : クロソイド長

$R$ : 点  $P$  における曲率半径

$\Delta R$ : 移程量 (シフト)

$XM$ : 点  $M$  の  $X$  座標

$YM$ : 点  $M$  の  $Y$  座標,  $YM = R + \Delta R$  である.

$X$ : 点  $P$  の  $X$  座標

$Y$ : 点  $P$  の  $Y$  座標

$TK$ : 短接線長

$TL$ : 長接線長

$T$ : 直線  $\overline{MP}$  と  $X$  軸の交点の  $X$  座標

$N$ : 法線長

$S$ : 動径

ニ) 無次元の諸要素

$\Delta R/R, L/R$

#### 2.3.4 $(UA, \bar{K})$ における諸要素の記号と名称

パラメーター  $A$  を単位とする単位クロソイド  $(UA, \bar{K})$  は一般に図 2.6 のように示されている. これについて述べると, 次のようである.

イ) 点と角度

点と角度は  $(\bar{K})$  の場合と同じである.

ロ)  $x_n$

$(\bar{K})$  において長さの単位を持つ諸要素  $X_n$  をクロソイドのパラメーター  $A$  で除した諸要素  $x_n$  は, 図 2.6 のように小文字で示されている.

ハ) 無次元の諸要素

$\Delta r/r, l/r$

#### 2.3.5 諸要素の分類

$(UA, \bar{K})$  における諸要素は, 表 2.10 のように分類することができる.

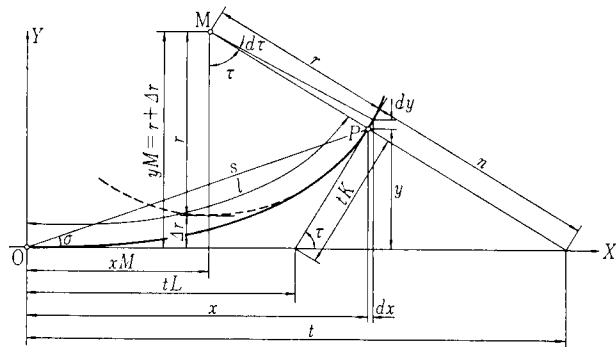


図 2.6  $(UA, \bar{K})$

表 2.10  $(UA, \bar{K})$ ,  $(\bar{K})$ における諸要素の分類

諸 要 素	分 類	$(UA, \bar{K})$	$(\bar{K})$
接 線 角	イ	$\tau$	
極 角		$\sigma$	
パ ラ メ ー タ ー	ロ	1	A
ク ロ ソ イ ド 長		$l$	$L=A \cdot l$
曲 率 半 径		$r$	$R=A \cdot r$
移 程 量		$\Delta r$	$\Delta R=A \cdot \Delta r$
点 M の X 座 標		$xM$	$XM=A \cdot xM$
点 P の X 座 標		$x$	$X=A \cdot x$
点 P の Y 座 標		$y$	$Y=A \cdot y$
短 接 線 長		$tK$	$TK=A \cdot tK$
長 接 線 長		$tL$	$TL=A \cdot tL$
交 点 の X 座 標		$t$	$T=A \cdot t$
法 線 長		$n$	$N=A \cdot n$
動 径		$s$	$S=A \cdot s$
移程量/曲率半径	ハ	$\Delta r/r$	$\Delta R/R=\Delta r/r$
曲線長/曲率半径		$l/r=l^2$	$L/R=l^2$

注) 分類の欄は表 1.1 を参照されたい。

### 2.3.6 $(UA, \bar{K})$ における諸要素の公式

図 2.6 を参照しながら,  $(UA, \bar{K})$  の諸要素を求める公式について述べよう。

#### (1) 基 本 式

$(\bar{K})$  における式  $A^2=R \cdot L$  は,  $(UA, \bar{K})$  では式  $r \cdot l=1$  となる。この式は  $(UA, \bar{K})$  の基本式といわれている。

#### (2) $x, y$

$(UA, \bar{K})$  におけるクロソイド長  $l$  の微少変化量  $dl$  に対応する微少変化量を  $d\tau, dx, dy$  とすると, 次の式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} dl &= r \cdot d\tau \\ dx &= dl \cdot \cos \tau, \quad dy = dl \cdot \sin \tau \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

$(UA, \bar{K})$  の基本式  $r \cdot l=1$  と式  $dl=r \cdot d\tau$  から  $r$  を消去すると,  $l \cdot dl=d\tau$  となり, これを積分すると,

$$\tau = l^2/2 \dots\dots\dots (2)$$

となる。さらに, 基本式から, 次の式が得られる。

$$\tau = l/2r \dots\dots\dots (3)$$

$$\tau = 1/2r^2 \dots\dots\dots (4)$$

式 (4) から式  $r=1/(2\tau)^{1/2}$  が得られる。そして,  $dx=dl \cos \tau=r \cos \tau d\tau$  であるから,

$$dx = \{1/(2\tau)^{1/2}\} \cos \tau d\tau \dots\dots\dots (5)$$

となる。同様にして、

$$dy = \{1/(2\tau)^{1/2}\} \sin \tau d\tau \dots\dots\dots (6)$$

となる。さらに、式(5)、(6)を積分すると、

$$x = 1/\sqrt{2} \int_0^\tau (\cos \tau / \sqrt{\tau}) d\tau \dots\dots\dots (7)$$

$$y = 1/\sqrt{2} \int_0^\tau (\sin \tau / \sqrt{\tau}) d\tau \dots\dots\dots (8)$$

となる。 $\cos \tau$ ,  $\sin \tau$  を級数に展開すると、

$$\cos \tau = 1 - \tau^2/2! + \tau^4/4! - \tau^6/6! + \tau^8/8! - \tau^{10}/10! + \tau^{12}/12! \dots\dots\dots (9)$$

$$\sin \tau = \tau - \tau^3/3! + \tau^5/5! - \tau^7/7! + \tau^9/9! - \tau^{11}/11! + \tau^{13}/13! \dots\dots\dots (10)$$

となる。式(9)、(10)を式(7)、(8)に、それぞれ代入して積分すると、

$$x = (2\tau)^{1/2} (1 - \tau^2/5 \times 2! + \tau^4/9 \times 4! - \tau^6/13 \times 6! + \tau^8/17 \times 8! - \tau^{10}/21 \times 10! + \tau^{12}/25 \times 12!) \dots\dots\dots (11)$$

$$y = (2\tau)^{1/2} (\tau/3 - \tau^3/7 \times 3! + \tau^5/11 \times 5! - \tau^7/15 \times 7! + \tau^9/19 \times 9! - \tau^{11}/23 \times 11! + \tau^{13}/27 \times 13!) \dots\dots\dots (12)$$

となる。そして、最終的に、次の式が得られる。

$$x = l(1 - l^2/40r^2 + l^4/3456r^4 - l^6/599040r^6 + l^8/175472640r^8 - l^{10}/78033715200r^{10} + l^{12}/49049763840000r^{12}) \dots\dots\dots (13)$$

$$y = (l^2/6r)(1 - l^2/56r^2 + l^4/7040r^4 - l^6/1612800r^6 + l^8/588349440r^8 - l^{10}/313373491200r^{10} + l^{12}/229552894771200r^{12}) \dots\dots\dots (14)$$

### (3) $x$ , $y$ 以外の諸要素

基本式から、

$$r = 1/l \dots\dots\dots (15)$$

である。そして、図 2.6 から、次の式が得られる。

$$\Delta r = y + r \cos \tau - r \dots\dots\dots (16)$$

$$xM = x - r \sin \tau \dots\dots\dots (17)$$

$$tK = y \operatorname{cosec} \tau \dots\dots\dots (18)$$

$$tL = x - y \cot \tau \dots\dots\dots (19)$$

$$\sigma = \tan^{-1}(y/x) \dots\dots\dots (20)$$

$$s = y \operatorname{cosec} \sigma \dots\dots\dots (21)$$

$$t = x + y \tan \tau \dots\dots\dots (22)$$

$$n = y \sec \tau \dots\dots\dots (23)$$

$$\Delta r/r = (y/r) + \cos \tau - 1 \dots\dots\dots (24)$$

$$l/r = l^2 \dots\dots\dots (25)$$

単位クロソイド表は、以上に示した式を用いて  $(UA, \bar{K})$  の諸要素  $\tau$ ,  $\sigma$ ,  $r$ ,  $\Delta r$ ,  $xM$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $tK$ ,  $tL$ ,  $t$ ,  $n$ ,  $s$ ,  $\Delta r/r$ ,  $l/r$  を変数  $l$  の関数として表示している。(表 2.17 参照)。

2.3.7  $(UA, \bar{K})$ における諸要素の動き

$(UA, \bar{K})$  の変数  $l$  が始点を  $l=0.000000$  ( $\tau=0$ )、終点を  $l=1.772447$  ( $\tau=90^\circ 00'$ ) として増加する場合、 $(UA, \bar{K})$  における諸要素の始点と終点における値、ならびに、始点から終点にいたる動き（増加または減少）を示すと、表 2.11 のようである。

表 2.11  $(UA, \bar{K})$  における諸要素の動き

諸 要 素	始 点 の 値	動 き	終 点 の 値
$l$	0	+	1.772447
$\tau$	0	+	$90^\circ 00' 00''$
$\sigma$	0	+	$29^\circ 20' 01''$
$r$	無 限 大	-	0.564195
$\Delta r$		+	0.212604
$xM$		+	0.818130
$x$		+	1.382331
$y$	0	+	0.776787
$tK$	0	+	0.776811
$tL$	0	+	1.382340
$t$	0	+	無 限 大
$n$	0	+	無 限 大
$s$	0	+	1.585620
$\Delta r/r$	0	+	0.376836
$l/r$	0	+	3.141593

## 2.3.8 自 由 度

$(UA, \bar{K})$  は 1 つの変数によってきまる。したがって、 $(UA, \bar{K})$  の自由度は 1、そして、 $(\bar{K})$  の自由度は 2 である。

## 2.3.9 計 算 条 件

$(UA, \bar{K})$  および  $(\bar{K})$  の諸要素は  $(UA, \bar{K})$  の諸要素  $\tau, \sigma, l, r, \Delta r, xM, x, y, tK, tL, t, n, s, \Delta r/r, l/r$  と  $(\bar{K})$  におい

て長さの単位を持つ 12 の諸要素である

(表 2.10 参照)。これら 27 の要素から得られる  $(\bar{K})$  の計算条件の数は、表

2.12 のようである。

## 2.3.10 計 算 法

計算条件を 3 つに分類することによって、 $(\bar{K})$  の計算法を示すと、次のようである。

- (1) 単位クロソイド表に示されている 1 つの要素すなわち  $(UA, \bar{K})$  における 1 つの要素と  $(\bar{K})$  において長さの単位を持つ 1 つの要素  $X_n$  が与えられる場合
  - イ)  $(UA, \bar{K})$  における 1 つの要素を用いて  $(UA, \bar{K})$  を求める。
  - ロ) 式  $A=X_n/x_n$  から  $A$  を求める。
  - ハ) 式  $(\bar{K})=A(UA, \bar{K})$  から  $(\bar{K})$  を求める。

この場合の計算条件の数は 180 である。

- (2)  $(\bar{K})$  において長さの単位を持つ 2 つの要素が与えられる場合のうち、2 つの要素から

表 2.12  $(\bar{K})$  を求める計算条件の数

計 算 条 件	計算条件の数
$(UA, \bar{K})$ における 1 つの要素と $X_n$	$15 \times 12 = 180$
$(\bar{K})$ において長さの単位を持つ 2 つの要素	${}_{12}C_2 = 66$

( $UA, \bar{K}$ ) における1つの要素を求めることができる場合

この場合の計算条件は  $R$  と  $L$ ,  $R$  と  $\Delta R$  および  $A$  と ( $\bar{K}$ ) において長さの単位を持つ1つの要素 (ただし  $A$  は除く) である. 計算条件の数は 13 である.

(3) ( $\bar{K}$ ) において長さの単位を持つ2つの要素が与えられる場合のうち, 2つの要素から ( $UA, \bar{K}$ ) における1つの要素を求めることができない場合

イ) 計算条件として与えられた ( $\bar{K}$ ) における2つの要素の比を求める.

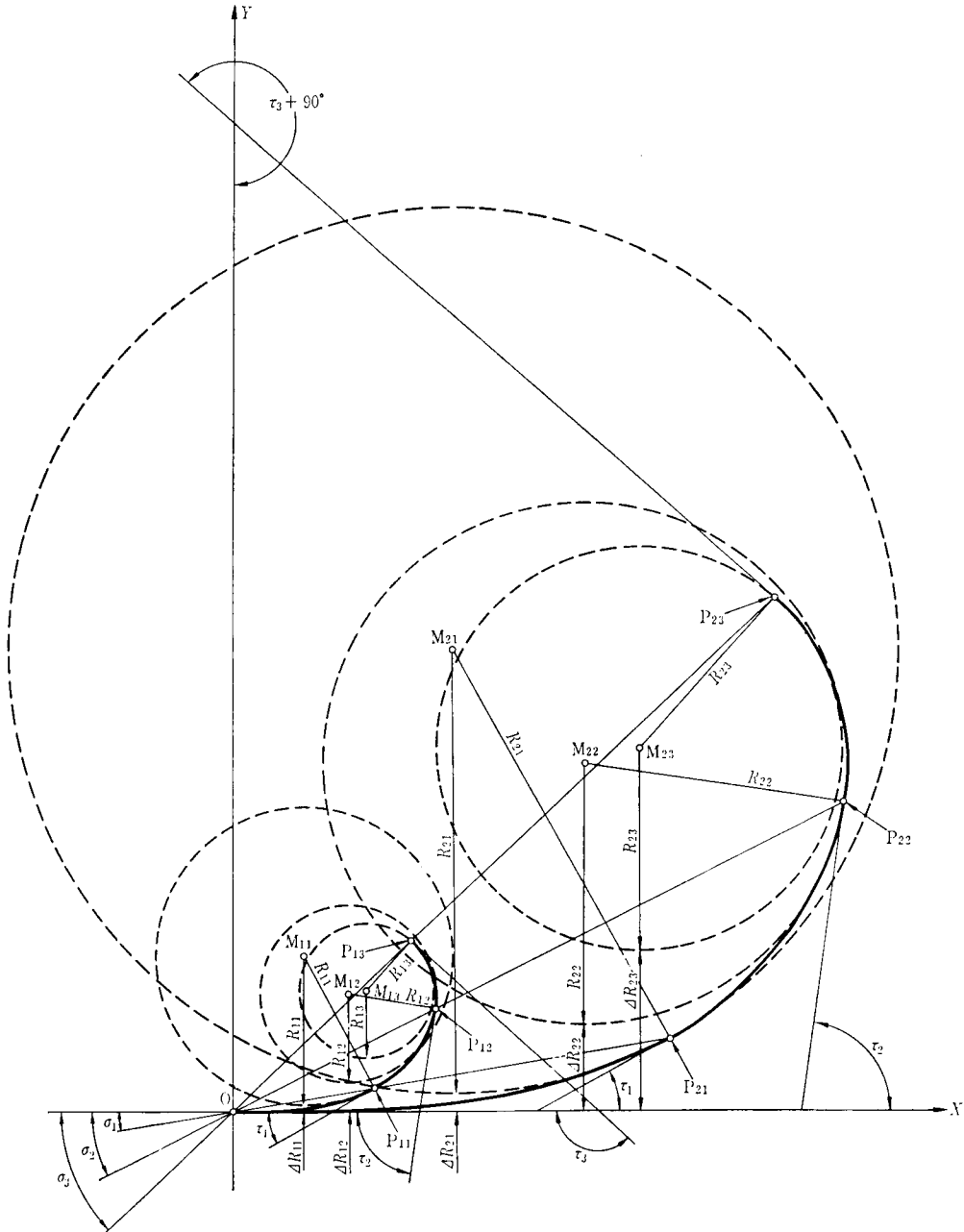


図 2.7 6 つのクロソイド



ロ) 単位クロソイド表を用いて,  $(UA, \bar{K})$  における2つの要素の比がイ) で求めた値となる  $l$  を求める.

以上の計算をすると, 計算条件は(1)に同じとなる. この場合の計算条件の数は 53 である.

### 2.3.11 性 質

図 2.7 は,  $XY$  座標にパラメーターを  $A_1, A_2$ , 接線角を  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  とする6つのクロソイド  $(\bar{K})_1 \sim (\bar{K})_6$  を示す. これらのクロソイドにおける諸要素は, 表 2.13 のようである. 図 2.7 と表 2.13 を用いてクロソイドの性質について述べよう.

表 2.13 図 2.7 に示したクロソイドの諸要素

諸要素 クロソイド	パラメーター	接線角	極角	曲率半径	クロソイド長	移程量	適要
$(\bar{K})_1$	$A_1$	$\tau_1$	$\sigma_1$	$R_{11}$	$L_{11}$	$\Delta R_{11}$	$P_{11}$
$(\bar{K})_2$	$A_1$	$\tau_2$	$\sigma_2$	$R_{12}$	$L_{12}$	$\Delta R_{12}$	$P_{12}$
$(\bar{K})_3$	$A_1$	$\tau_3$	$\sigma_3$	$R_{13}$	$L_{13}$	$\Delta R_{13}$	$P_{13}$
$(\bar{K})_4$	$A_2$	$\tau_1$	$\sigma_1$	$R_{21}$	$L_{21}$	$\Delta R_{21}$	$P_{21}$
$(\bar{K})_5$	$A_2$	$\tau_2$	$\sigma_2$	$R_{22}$	$L_{22}$	$\Delta R_{22}$	$P_{22}$
$(\bar{K})_6$	$A_2$	$\tau_3$	$\sigma_3$	$R_{23}$	$L_{23}$	$\Delta R_{23}$	$P_{23}$

注) クロソイドの始点は原点Oである. そして, 終点は摘要欄に示す.

#### (1) クロソイドの基本式

パラメーター  $A_1$  のクロソイドでは, 式  $A_1^2 = R_{11} \cdot L_{11} = R_{12} \cdot L_{12} = R_{13} \cdot L_{13}$  が, そして, パラメーター  $A_2$  のクロソイドでは, 式  $A_2^2 = R_{21} \cdot L_{21} = R_{22} \cdot L_{22} = R_{23} \cdot L_{23}$  が成立する.

#### (2) クロソイドと相似

接線角  $\tau$  または極角  $\sigma$  を同じとする2つのクロソイドは相似である. したがって,  $A_2/A_1 = N$  と置くと, 式  $(\bar{K})_4 = N(\bar{K})_1$ ,  $(\bar{K})_5 = N(\bar{K})_2$ ,  $(\bar{K})_6 = N(\bar{K})_3$  が成立する.

#### (3) 相似の中心

図 2.7 に示した相似なクロソイド  $(\bar{K})_4$  と  $(\bar{K})_1$ ,  $(\bar{K})_5$  と  $(\bar{K})_2$ ,  $(\bar{K})_6$  と  $(\bar{K})_3$  は, それぞれ相似の位置にある. そして, 相似の中心は原点 O である.

#### (4) 計算条件

表 2.13 に示した諸要素表を用いて, クロソイド  $(\bar{K})_1 \sim (\bar{K})_6$  が得られる計算条件の例を, それぞれ1つ示すと, 表

2.14 のようである.

表 2.14 計算条件とクロソイド

計算条件	クロソイド	計算条件	クロソイド
$R_{11}, \Delta R_{11}$	$(\bar{K})_1$	$\sigma_1, L_{21}$	$(\bar{K})_4$
$\tau_2, A_1$	$(\bar{K})_2$	$\tau_2, R_{22}$	$(\bar{K})_5$
$R_{13}, L_{13}$	$(\bar{K})_3$	$A_2, R_{23}$	$(\bar{K})_6$

注)  $R_{11}, \Delta R_{11}$  を与えて得られるクロソイドは  $(\bar{K})_1$  である.

### 2.3.12 計算例

$R=50.0$  m,  $\Delta R=2.0$  m を与えて  $(\bar{K})$  を求めよう.

[解]

イ)  $(UA, \bar{K})$  における1つの要素  $\Delta r/r = \Delta R/R = 2.0/50.0 = 0.040000$  を用いて,  $(UA, \bar{K})$  を求めると, 表 2.15 のようである.

ロ)  $A = R/r = 50.0/1.008078 = 49.599337$  である.

ハ) 式  $(\bar{K}) = A(UA, \bar{K})$  から  $(\bar{K})$  を求めると, 表 2.16 のようである.

表 2.15  $\Delta r/r=0.040000$  における  $(UA, \bar{K})$  の計算表

諸要素	$l$	$\tau$	$\sigma$	$r$	$\Delta r$	$xM$	$x$	$y$
(diff)	1000	3'25''	1'08''	-1017	121	480	882	472
①	0.991000	28°08'04''	9°21'32''	1.009082	0.040204	0.491544	0.967370	0.159435
$\Delta$	988	3'22''	1'07''	-1004	119	474	871	466
①+ $\Delta$	0.991988	28°11'26''	9°22'39''	1.008078	0.040323	0.492018	0.968241	0.159901

諸要素	$tK$	$tL$	$t$	$n$	$S_0$	$\Delta r/r$	$l/r$
(diff)	374	711	1338	632	946	160	1983
①	0.338112	0.669208	1.052624	0.180797	0.980421	0.039842	0.982081
$\Delta$	369	702	1321	624	934	158	1958
①+ $\Delta$	0.338481	0.669910	1.053945	0.181421	0.981355	0.040000	0.984039

注1)  $\alpha = \Delta/(\text{diff}) = 158/160 = 0.987500$  である。

2) 「クロソイドポケットブック」の単位クロソイド表の抜粋である 表 2.17 を参照されたい。

数表は変数（単位クロソイド表の場合は  $l$ ）の値をまるめた値として表示している。したがって、一般に計算条件から得られた値は数表に示された値と一致しない。この場合は内挿法を用いて、計算条件から得られた値における数表の値を求めなければならない。表 2.15 は、内挿法による計算例である。内挿法の計算法は、次のようである。

イ) 計算条件から求めた値 ( $\Delta r/r=0.040000$ ) に対する直近下位における数表の値を計算表の

表 2.16  $(\bar{K})$  の 計 算 表

諸 要 素	$(UA, \bar{K})$	$(\bar{K})$
接 線 角	$\tau = 28^\circ 11' 26''$	
極 角	$\sigma = 9^\circ 22' 39''$	
パ ラ メ ター	1.000000	$A = 49.599$
ク ロ ソ イ ド 長	$l = 0.991988$	$L = 49.202$
曲 率 半 径	$r = 1.008078$	$R = 50.000$
移 程 量	$\Delta r = 0.040323$	$\Delta R = 2.000$
点 M の X 座 標	$xM = 0.492018$	$XM = 24.404$
点 P の X 座 標	$x = 0.968241$	$X = 48.024$
点 P の Y 座 標	$y = 0.159901$	$Y = 7.931$
短 接 線 長	$tK = 0.338481$	$TK = 16.788$
長 接 線 長	$tL = 0.669910$	$TL = 33.227$
交 点 の X 座 標	$t = 1.053945$	$T = 52.275$
法 線 長	$n = 0.181421$	$N = 8.998$
動 径	$s = 0.981355$	$S = 48.675$
移 程 量 / 曲 率 半 径	$\Delta r/r = 0.040000$	$\Delta R/R = 0.040000$
曲 線 長 / 曲 率 半 径	$l/r = 0.984039$	$L/R = 0.984039$

①の欄に記入する。

ロ) イ) で記入した数表の値の下の欄に記入された difference を計算表の (diff) の欄に記入する。

ハ) 計算条件から求めた値を用いて係数  $\alpha = \Delta/(\text{diff})$  を求める。係数  $\alpha$  は計算表の注書きとする。

ニ) 式  $\Delta = \alpha \cdot (\text{diff})$  を用いて  $\Delta$  を求め、計算表の  $\Delta$  の欄に記入する。

ホ) ①+ $\Delta$  を求めて解とする。

## 2.3.13 A 表

単曲線 ( $C$ ) は、式  $(C)=R(U, C)$  から求めている。同様にクロソイド ( $\bar{K}$ ) は、一般に式  $(\bar{K})=A(U, \bar{K})$  から求めている。ここにおいて、クロソイド ( $\bar{K}$ ) を式  $(\bar{K})=A(U, \bar{K})$  から求める計算法を簡素化するために、直接 ( $\bar{K}$ ) を表示したクロソイド表は、A表と呼ばれている。A表は、42個のパラメーター、 $A=55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 110, 120, 125, 130, 140, 150, 160, 170, 175, 180, 190, 200, 210, 220, 225, 230, 240, 250, 260, 270, 275, 280, 290, 300, 325, 350, 375, 400, 425, 450, 475, 500$  のそれぞれに対して、30個の曲率半径をまるめた値とする、合計1260個 ( $=42 \times 30$ ) の ( $\bar{K}$ ) を表示している。1260個の ( $\bar{K}$ ) は、表示された  $X_n$  (表1.1参照) の桁数を変更 (1/10倍または10倍など) して用いることもできる。これらの ( $\bar{K}$ ) は、2つの変数  $A, R$ 、平面上の点と ( $U, \bar{K}$ ) 線上の点に対応している (表2.18参照)。

表 2.17 単位クロソイド表

0.975000 ~ 1.000000

$\ell$	$\tau$	$\sigma$	$r$	$\Delta r$	$x_M$	$x$	$y$
0.975000	27 14 00	09 03 37	1.025641	0.038309	0.483852	0.953202	0.152002
1000	3 21	1 7	1051	117	481	889	458
0.976000	27 17 21	09 04 44	1.024590	0.038426	0.484333	0.954091	0.152460
1000	3 22	1 7	1049	117	481	888	459
0.977000	27 20 43	09 05 51	1.023541	0.038543	0.484814	0.954979	0.152919
1000	3 21	1 6	1046	117	482	888	459
0.978000	27 24 04	09 06 57	1.022495	0.038660	0.485296	0.955867	0.153378
1000	3 22	1 7	1045	117	481	888	461
0.979000	27 27 26	09 08 04	1.021450	0.038777	0.485777	0.956755	0.153839
1000	3 22	1 7	1042	118	481	887	462
0.980000	27 30 48	09 09 11	1.020408	0.038895	0.486258	0.957642	0.154301
1000	3 23	1 7	1040	118	481	887	462
0.981000	27 34 11	09 10 18	1.019368	0.039013	0.486739	0.958529	0.154763
1000	3 22	1 7	1038	118	481	886	463
0.982000	27 37 33	09 11 25	1.018330	0.039131	0.487220	0.959415	0.155226
1000	3 23	1 8	1036	118	480	886	464
0.983000	27 40 56	09 12 33	1.017294	0.039249	0.487700	0.960301	0.155690
1000	3 23	1 7	1034	119	481	885	465
0.984000	27 44 19	09 13 40	1.016260	0.039368	0.488181	0.961186	0.156155
1000	3 23	1 7	1032	119	481	885	466
0.985000	27 47 42	09 14 47	1.015228	0.039487	0.488662	0.962071	0.156621
1000	3 23	1 7	1029	119	480	884	467
0.986000	27 51 05	09 15 54	1.014199	0.039606	0.489142	0.962955	0.157088
1000	3 23	1 8	1028	119	481	884	468
0.987000	27 54 28	09 17 02	1.013171	0.039725	0.489623	0.963839	0.157556
1000	3 24	1 7	1025	119	480	884	468
0.988000	27 57 52	09 18 09	1.012146	0.039844	0.490103	0.964723	0.158024
1000	3 24	1 8	1024	120	481	883	469
0.989000	28 01 16	09 19 17	1.011122	0.039964	0.490584	0.965606	0.158493
1000	3 24	1 7	1021	120	480	882	471
0.990000	28 04 40	09 20 24	1.010101	0.040084	0.491064	0.966488	0.158964
1000	3 24	1 8	1019	120	480	882	471
0.991000	28 08 04	09 21 32	1.009082	0.040204	0.491544	0.967370	0.159435
1000	3 25	1 8	1017	121	480	882	472
0.992000	28 11 29	09 22 40	1.008065	0.040325	0.492024	0.968252	0.159907
1000	3 25	1 8	1016	120	480	881	473
0.993000	28 14 54	09 23 48	1.007049	0.040445	0.492504	0.969133	0.160380
1000	3 25	1 8	1013	121	480	881	473
0.994000	28 18 19	09 24 56	1.006036	0.040566	0.492984	0.970014	0.160853
1000	3 25	1 8	1011	121	480	880	475
0.995000	28 21 44	09 26 04	1.005025	0.040687	0.493464	0.970894	0.161328
1000	3 25	1 8	1009	122	480	880	475
0.996000	28 25 09	09 27 12	1.004016	0.040809	0.493944	0.971774	0.161803
1000	3 26	1 8	1007	121	480	879	477
0.997000	28 28 35	09 28 20	1.003009	0.040930	0.494424	0.972653	0.162280
1000	3 25	1 8	1005	122	479	879	477
0.998000	28 32 00	09 29 28	1.002004	0.041052	0.494903	0.973532	0.162757
1000	3 26	1 8	1003	122	480	878	478
0.999000	28 35 26	09 30 36	1.001001	0.041174	0.495383	0.974410	0.163235
1000	3 26	1 8	1001	123	479	878	479
1.000000	28 38 52	09 31 44	1.000000	0.041297	0.495862	0.975288	0.163714
$\ell$	$\tau$	$\sigma$	$r$	$\Delta r$	$x_M$	$x$	$y$

0.975000 ~ 1.000000

$t_K$	$t_L$	$t$	$n$	$s_0$	$\frac{\Delta r}{r}$	$\frac{r}{r}$	$\ell$
0.332159	0.657862	1.031432	0.170952	0.965245	0.037351	0.950625	0.975000
371	708	1313	601	950	153	1951	1000
0.332530	0.658570	1.032745	0.171553	0.966195	0.037504	0.952576	0.976000
371	708	1314	603	950	152	1953	1000
0.332901	0.659278	1.034059	0.172156	0.967145	0.037656	0.954529	0.977000
371	708	1316	605	950	153	1955	1000
0.333272	0.659986	1.035375	0.172761	0.968095	0.037809	0.956484	0.978000
372	709	1318	607	949	154	1957	1000
0.333644	0.660695	1.036693	0.173368	0.969044	0.037963	0.958441	0.979000
371	708	1319	609	949	154	1959	1000
0.334015	0.661403	1.038012	0.173977	0.969993	0.038117	0.960400	0.980000
372	709	1320	610	949	155	1961	1000
0.334387	0.662112	1.039332	0.174587	0.970942	0.038272	0.962361	0.981000
372	709	1322	613	949	155	1963	1000
0.334759	0.662821	1.040654	0.175200	0.971891	0.038427	0.964324	0.982000
372	709	1324	614	949	155	1965	1000
0.335131	0.663530	1.041978	0.175814	0.972840	0.038582	0.966289	0.983000
372	709	1325	616	948	156	1967	1000
0.335503	0.664239	1.043303	0.176430	0.973788	0.038738	0.968256	0.984000
372	709	1327	619	948	156	1969	1000
0.335875	0.664948	1.044630	0.177049	0.974736	0.038894	0.970225	0.985000
372	710	1328	620	948	157	1971	1000
0.336247	0.665658	1.045958	0.177669	0.975684	0.039051	0.972196	0.986000
373	710	1330	621	948	158	1973	1000
0.336620	0.666368	1.047288	0.178290	0.976632	0.039209	0.974169	0.987000
373	709	1332	624	947	157	1975	1000
0.336993	0.667077	1.048620	0.178914	0.977579	0.039366	0.976144	0.988000
373	711	1333	626	948	159	1977	1000
0.337366	0.667788	1.049953	0.179540	0.978527	0.039525	0.978121	0.989000
373	710	1335	628	947	158	1979	1000
0.337739	0.668498	1.051288	0.180168	0.979474	0.039683	0.980100	0.990000
373	710	1336	629	947	159	1981	1000
0.338112	0.669208	1.052624	0.180797	0.980421	0.039842	0.982081	0.991000
374	711	1338	632	946	160	1983	1000
0.338486	0.669919	1.053962	0.181429	0.981367	0.040002	0.984064	0.992000
373	711	1340	633	947	160	1985	1000
0.338859	0.670630	1.055302	0.182062	0.982314	0.040162	0.986049	0.993000
374	711	1341	636	946	161	1987	1000
0.339233	0.671341	1.056643	0.182698	0.983260	0.040323	0.988036	0.994000
374	711	1343	637	946	161	1989	1000
0.339607	0.672052	1.057986	0.183335	0.984206	0.040484	0.990025	0.995000
374	712	1344	639	946	162	1991	1000
0.339981	0.672764	1.059330	0.183974	0.985152	0.040646	0.992016	0.996000
375	711	1346	641	945	162	1993	1000
0.340356	0.673475	1.060676	0.184615	0.986097	0.040808	0.994009	0.997000
374	712	1348	644	946	162	1995	1000
0.340730	0.674187	1.062024	0.185259	0.987043	0.040970	0.996004	0.998000
375	712	1350	645	945	163	1997	1000
0.341105	0.674899	1.063374	0.185904	0.987988	0.041133	0.998001	0.999000
375	712	1351	647	945	164	1999	1000
0.341480	0.675611	1.064725	0.186551	0.988933	0.041297	1.000000	1.000000
$t_K$	$t_L$	$t$	$n$	$s_0$	$\frac{\Delta r}{r}$	$\frac{r}{r}$	$\ell$

表 2.18 A 表

A = 55		$\frac{1}{A} = 0.018181818$		A <sup>2</sup> = 3025		$\frac{1}{6A^2} = 0.00055096418$				
R	L	$\tau^\circ ' ''$	$\sigma^\circ ' ''$	$\Delta R$	X <sub>M</sub>	X	Y	T <sub>K</sub>	T <sub>L</sub>	S <sub>0</sub>
300	10.083	0 57 46	0 19 15	.014	5.042	10.083	.056	3.361	6.722	10.083
250	12.100	1 23 12	0 27 44	.024	6.050	12.099	.098	4.034	8.067	12.100
225	13.444	1 42 42	0 34 14	.033	6.722	13.443	.134	4.482	8.963	13.444
200	15.125	2 09 59	0 43 20	.048	7.562	15.123	.191	5.042	10.084	15.124
190	15.921	2 24 02	0 48 01	.056	7.960	15.918	.222	5.308	10.615	15.920
180	16.806	2 40 29	0 53 30	.065	8.402	16.802	.261	5.603	11.205	16.804
175	17.286	2 49 47	0 56 36	.071	8.642	17.281	.285	5.763	11.525	17.284
170	17.794	2 59 55	0 59 58	.078	8.896	17.789	.310	5.933	11.864	17.792
160	18.906	3 23 07	1 07 42	.093	9.452	18.900	.372	6.304	12.600	18.903
150	20.167	3 51 06	1 17 02	.113	10.082	20.158	.452	6.725	13.443	20.163
140	21.607	4 25 17	1 28 25	.139	10.801	21.594	.556	7.206	14.400	21.601
130	23.269	5 07 40	1 42 33	.173	11.632	23.251	.694	7.762	15.510	23.261
125	24.200	5 32 46	1 50 55	.195	12.096	24.177	.780	8.074	16.141	24.190
120	25.208	6 01 05	2 00 21	.221	12.600	25.181	.832	8.412	16.815	25.196
110	27.500	7 09 43	2 23 13	.286	13.743	27.457	1.145	9.180	18.343	27.481
100	30.250	8 39 58	2 53 17	.381	15.113	30.181	1.523	10.105	20.191	30.219
95	31.842	9 36 08	3 12 00	.444	15.906	31.753	1.775	10.643	21.259	31.802
90	33.611	10 41 55	3 33 55	.522	16.786	33.494	2.087	11.241	22.448	33.559
85	35.558	11 59 40	3 59 43	.620	17.768	35.433	2.476	11.912	23.780	35.519
80	37.613	13 32 26	4 30 41	.743	18.871	37.602	2.967	12.672	25.282	37.719
75	40.333	16 24 22	5 07 56	.901	20.118	40.043	3.596	13.538	26.991	40.204
70	43.214	17 41 02	5 53 26	1.103	21.532	42.804	4.416	14.537	28.955	43.032
65	46.538	20 30 40	6 49 47	1.382	23.170	45.946	5.503	15.705	31.237	46.274
60	50.417	24 04 20	8 00 43	1.754	25.061	49.534	6.972	17.093	33.927	50.022
55	55.000	28 33 32	9 31 44	2.271	27.272	53.641	9.004	18.781	37.159	54.331
50	60.500	34 30 50	11 31 07	3.011	29.835	58.323	11.836	20.897	41.135	59.522
45	67.222	42 47 42	14 11 48	4.102	32.996	63.568	16.081	23.671	46.198	65.570
40	75.625	54 09 45	17 54 52	5.771	36.714	69.141	22.351	27.571	52.998	72.664
35	86.429	70 44 34	23 15 54	8.424	41.109	74.151	31.881	33.770	63.013	80.714
30	100.833	96 17 19	31 16 22	12.779	46.026	75.845	46.065	46.344	80.922	83.739

A = 60		$\frac{1}{A} = 0.016666666$		A <sup>2</sup> = 3600		$\frac{1}{6A^2} = 0.00046296296$				
R	L	$\tau^\circ ' ''$	$\sigma^\circ ' ''$	$\Delta R$	X <sub>M</sub>	X	Y	T <sub>K</sub>	T <sub>L</sub>	S <sub>0</sub>
300	12.000	1 08 45	0 22 55	.020	6.000	12.000	.080	4.000	8.000	12.000
250	14.400	1 39 00	0 33 00	.035	7.200	14.399	.138	4.800	9.600	14.399
225	16.000	2 02 14	0 40 45	.047	8.000	15.998	.190	5.334	10.667	15.999
200	18.000	2 34 42	0 51 34	.067	8.999	17.996	.270	6.001	12.001	17.998
190	18.947	2 51 25	0 57 08	.079	9.473	18.943	.315	6.317	12.633	18.945
180	20.000	3 10 58	1 03 40	.093	9.999	19.994	.370	6.668	13.335	19.997
175	20.571	3 22 03	1 07 21	.101	10.285	20.564	.403	6.859	13.717	20.568
170	21.176	3 34 07	1 11 22	.110	10.587	21.168	.440	7.061	14.121	21.173
160	22.500	4 01 43	1 20 34	.132	11.248	22.489	.527	7.504	15.004	22.495
150	24.000	4 35 01	1 31 40	.160	11.997	23.985	.640	8.005	16.005	23.993
140	25.714	5 15 43	1 45 14	.197	12.854	25.693	.787	8.578	17.150	25.705
130	27.692	6 06 09	2 02 02	.246	13.841	27.661	.982	9.241	18.473	27.678
125	28.800	6 36 02	2 12 00	.276	14.354	28.762	1.105	9.612	19.213	28.783
120	30.000	7 09 43	2 23 13	.312	14.992	29.953	1.249	10.015	20.016	29.979
110	32.727	8 31 24	2 50 26	.405	16.352	32.655	1.620	10.932	21.844	32.695

R	L	$\tau^\circ \ ' \ ''$	$\sigma^\circ \ ' \ ''$	$\Delta R$	$X_M$	X	Y	$T_K$	$T_L$	$S_0$
100	36,000	10 18 48	3 26 12	.539	17,981	35,884	2,155	12,037	24,041	35,948
95	37,895	11 25 39	3 48 28	.629	18,922	37,744	2,512	12,680	25,316	37,828
90	40,000	12 43 57	4 14 32	.739	19,967	39,803	2,953	13,396	26,736	39,912
85	42,353	14 16 28	4 45 20	.877	21,133	42,091	3,502	14,202	28,328	42,236
80	45,000	16 06 52	5 22 04	1,052	22,441	44,645	4,195	15,114	30,125	44,842
75	48,000	18 20 05	6 06 22	1,275	23,918	47,511	5,083	16,153	32,173	47,782
70	51,429	21 02 51	7 00 28	1,567	25,599	50,739	6,237	17,366	34,531	51,121
65	55,385	24 24 36	8 07 27	1,954	27,526	54,388	7,764	18,737	37,280	54,939
60	60,000	28 38 52	9 31 44	2,478	29,752	58,517	9,823	20,489	40,537	59,336
55	65,455	34 05 36	11 19 48	3,205	32,345	63,175	12,658	22,532	44,474	64,430
50	72,000	41 15 11	13 41 24	4,241	35,387	68,356	16,651	25,252	49,372	70,355
45	80,000	50 55 46	16 51 39	5,761	38,969	73,906	22,399	28,851	55,722	77,226
40	90,000	64 27 28	21 14 54	8,066	43,167	79,258	30,819	34,157	64,530	85,059
35	102,957	84 11 23	27 31 20	11,667	47,942	82,762	43,124	43,346	78,374	93,323
30	120,000	114 35 30	36 45 50	17,373	52,833	80,112	59,857	65,823	107,506	100,004

A = 65		$\frac{1}{A} = 0.015384615$		A <sup>2</sup> = 4225		$\frac{1}{6A^2} = 0.00039447731$				
R	L	$\tau^\circ \ ' \ ''$	$\sigma^\circ \ ' \ ''$	$\Delta R$	$X_M$	X	Y	$T_K$	$T_L$	$S_0$
350	12,071	0 59 17	0 19 46	.017	6,036	12,071	.069	4,024	8,048	12,071
300	14,083	1 20 41	0 26 54	.028	7,042	14,083	.110	4,695	9,389	14,083
250	16,900	1 56 12	0 38 44	.048	8,450	16,900	.190	5,634	11,267	16,899
225	18,778	2 23 27	0 47 49	.065	9,388	18,775	.261	6,260	12,520	18,776
200	21,125	3 01 32	1 00 31	.093	10,562	21,119	.372	7,044	14,085	21,122
190	22,237	3 21 10	1 07 03	.108	11,117	22,229	.434	7,415	14,827	22,233
180	23,472	3 44 09	1 14 43	.128	11,734	23,462	.510	7,827	15,652	23,468
175	24,143	3 57 08	1 19 02	.139	12,070	24,131	.555	8,051	16,099	24,138
170	24,853	4 11 17	1 23 46	.151	12,424	24,840	.605	8,289	16,573	24,847
160	26,406	4 43 41	1 34 33	.182	13,200	26,388	.726	8,808	17,610	26,398
150	28,167	5 22 46	1 47 35	.220	14,079	28,142	.881	9,397	18,786	28,156
140	30,179	6 10 31	2 03 30	.271	15,083	30,144	1,083	10,071	20,131	30,153
130	32,500	7 09 43	2 23 13	.338	16,242	32,449	1,353	10,849	21,684	32,477
125	33,806	7 44 47	2 34 54	.381	16,890	33,738	1,521	11,286	22,555	33,773
120	35,208	8 24 19	2 48 05	.430	17,592	35,133	1,719	11,760	23,499	35,175
110	38,409	10 00 11	3 20 01	.558	19,185	38,292	2,230	12,840	25,647	38,357
100	42,250	12 05 13	4 01 59	.743	21,094	42,062	2,966	14,143	28,233	42,166
95	44,474	13 24 41	4 28 05	.866	22,196	44,231	3,456	14,902	29,735	44,365
90	46,944	14 56 34	4 58 41	1,018	23,419	46,626	4,051	15,705	31,409	46,803
85	49,706	16 45 09	5 34 48	1,207	24,782	49,283	4,815	16,750	33,287	49,517
80	52,813	18 54 44	6 17 54	1,447	26,311	52,240	5,766	17,789	35,411	52,557
75	56,333	21 31 04	7 09 50	1,754	28,035	55,544	6,981	19,034	37,837	55,981
70	60,357	24 42 05	8 13 15	2,154	29,993	59,245	8,559	20,482	40,637	59,860
65	65,000	28 38 52	9 31 44	2,684	32,231	63,394	10,641	22,196	43,915	64,281
60	70,417	33 37 17	11 10 27	3,401	34,808	68,030	13,439	24,270	47,820	69,345
55	76,818	40 00 44	13 16 54	4,393	37,793	73,155	17,269	26,858	52,585	75,166
50	84,500	48 24 54	16 02 21	5,801	41,264	78,663	22,614	30,234	58,595	81,849
45	93,889	59 46 17	19 44 07	7,852	45,292	84,173	30,197	34,949	66,578	89,426
40	105,625	75 38 54	24 49 39	10,924	49,888	88,640	41,005	42,330	78,147	97,667
35	120,714	98 48 22	32 02 32	15,617	54,845	89,432	55,975	56,643	98,104	100,004

## 2.4 単位平面線形の変換

単曲線表は、 $(UR, C)$  の道路交角  $\theta$  を変数として  $(UR, C)$  の諸要素を示した数表である。  
また、単位クロソイド表は  $(UA, \bar{K})$  のクロソイド長  $l$  を変数として  $(UA, \bar{K})$  の諸要素を示した数表である。ここでは、半径  $R$  を単位とするクロソイドの単位平面線形  $(UR, \bar{K})$  について述べよう。

### 2.4.1 単位平面線形の変換

単位平面線形  $(UA, \bar{K})$  の諸要素を  $(1/r=l)$  倍すると  $(UR, \bar{K})$  の諸要素が得られる(表2.19参照)。

表2.19 単位平面線形の変換

線形 \ 諸要素	半 径	パラメーター	クロソイド長	接 線 角	移 程 量	点MのX座標
$(\bar{K})$	$R$	$A$	$L$	$\tau$	$\Delta R$	$XM$
$(UA, \bar{K})$	$r$	1	$l$	$\tau$	$\Delta r$	$xM$
$(UR, \bar{K})$	1	$l$	$l^2$	$\tau$	$\Delta r/r$	$l \cdot xM$

注) 表 1.2 を参照されたい。

### 2.4.2 $(UR, \bar{K})$ の計算例

数表2(表2.21参照)は、単位平面線形  $(UR, \bar{K})$  のパラメーター  $l$  を変数として  $(UR, \bar{K})$  の諸要素  $l^2, \tau, \Delta r/r, l \cdot xM$  を示した数表である。この数表から接線角  $\tau$  の始点を  $\tau=0$ 、終点を  $\tau=75^\circ$ 、ピッチを  $15^\circ$  として  $(UR, \bar{K})$  の諸要素を求めると表2.20のようである。

表2.20 接線角  $\tau$  と  $(UR, \bar{K})$

パラメーター $l$	クロソイド長 $l^2$	接線角 $\tau$	移 程 量 $\Delta r/r$	点MのX座標 $l \cdot xM$
0	0	0	0	0
0.723601	0.523599	15°	0.011395	0.261202
1.023326	1.047197	30°	0.045248	0.518850
1.253314	1.570796	45°	0.100573	0.769523
1.447202	2.094395	60°	0.175776	1.010063
1.618022	2.617994	75°	0.268723	1.237692

注)  $\tau=90^\circ$  では、式  $l^2=\pi$  が成立する。

### 2.4.3 XY座標と $(UR, \bar{K})$

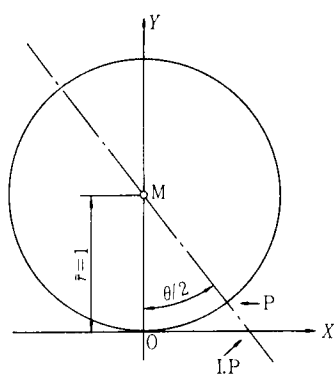
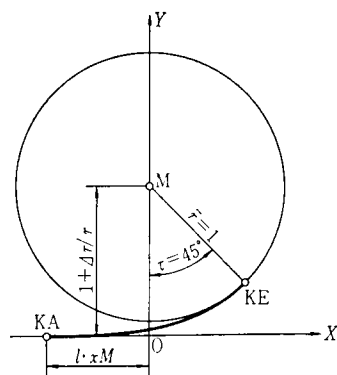
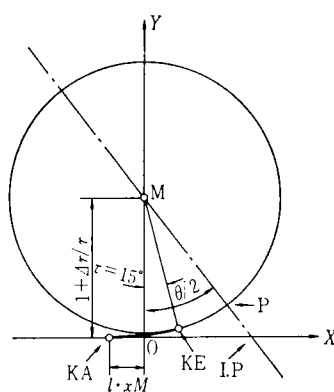
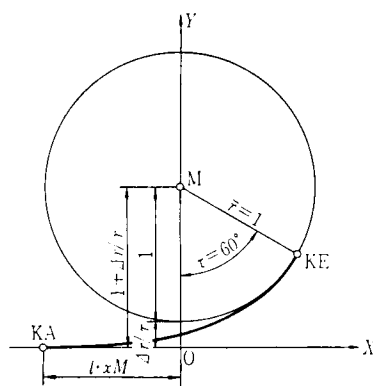
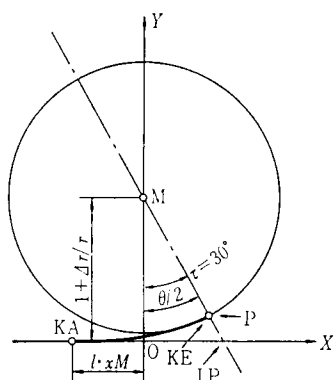
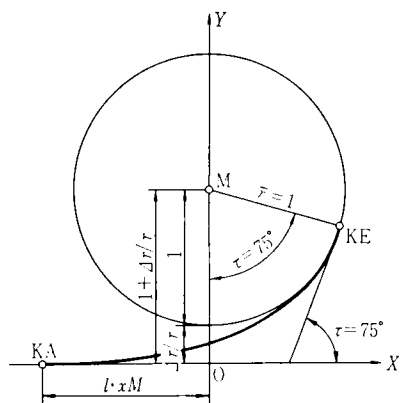
1平面上で直交するXY座標に、表2.21の  $(UR, \bar{K})$  を示すと、図2.8.1～2.8.6のようである。これらの図について述べると、次のようである。

イ) 点

O: XY軸の交点

M: 単位円の中心



図 2.8.1  $(UR, \bar{K}) \tau=0$ 図 2.8.4  $(UR, \bar{K}) \tau=45^\circ$ 図 2.8.2  $(UR, \bar{K}) \tau=15^\circ$ 図 2.8.5  $(UR, \bar{K}) \tau=60^\circ$ 図 2.8.3  $(UR, \bar{K}) \tau=30^\circ$ 図 2.8.6  $(UR, \bar{K}) \tau=75^\circ$ 

KA: 単位クロソイド  $(UR, \bar{K})$  の始点

KE: 単位クロソイド  $(UR, \bar{K})$  の終点

P: 点 M をとおる直線と単位円の交点

L.P: 点 M をとおる直線と X 軸の交点

表 2.21 数 表 2

(0.000~0.080)

$l$	$l^2$	$\sigma$	$\tau$	$\Delta\tau/\tau$	$l \cdot xM$
0.000	0.000000	0.0	0.000000	0.000000	0.000000
1	1	0.1	0	0	0
0.001	0.000001	0.1	0.000000	0.000000	0.000000
1	3	0.3	0	0	2
0.002	0.000004	0.4	0.000000	0.000002	0.000002
1	5	0.5	0	0	2
0.003	0.000009	0.9	0.000000	0.000004	0.000004
1	7	0.8	0	0	4
0.004	0.000016	1.7	0.000000	0.000008	0.000008
1	9	0.9	0	0	4
0.005	0.000025	2.6	0.000000	0.000012	0.000012
1	11	1.1	0	0	6
0.006	0.000036	3.7	0.000000	0.000018	0.000018
1	13	1.4	0	0	6
0.007	0.000049	5.1	0.000000	0.000024	0.000024
1	15	1.5	0	0	8
0.008	0.000064	6.6	0.000000	0.000032	0.000032
1	17	1.8	0	0	8
0.009	0.000081	8.4	0.000000	0.000040	0.000040
1	19	1.9	0	0	10
0.010	0.000100	10.3	0.000000	0.000050	0.000050
1	21	2.2	0	0	10
0.011	0.000121	12.5	0.000000	0.000060	0.000060
1	23	2.4	0	0	12
0.012	0.000144	14.9	0.000000	0.000072	0.000072
1	25	2.5	0	0	12
0.013	0.000169	17.4	0.000000	0.000084	0.000084
1	27	2.8	0	0	14
0.014	0.000196	20.2	0.000000	0.000098	0.000098
1	29	3.0	0	0	14
0.015	0.000225	23.2	0.000000	0.000112	0.000112
1	31	3.2	0	0	16
0.016	0.000256	26.4	0.000000	0.000128	0.000128
1	33	3.4	0	0	16
0.017	0.000289	29.8	0.000000	0.000144	0.000144
1	35	3.6	0	0	18
0.018	0.000324	33.4	0.000000	0.000162	0.000162
1	37	3.8	0	0	18
0.019	0.000361	37.2	0.000000	0.000180	0.000180
1	39	4.1	0	0	20
0.020	0.000400	41.3	0.000000	0.000200	0.000200
1	41	4.2	0	0	20
0.021	0.000441	45.5	0.000000	0.000220	0.000220
1	43	4.4	0	0	22
0.022	0.000484	49.9	0.000000	0.000242	0.000242
1	45	4.7	0	0	22
0.023	0.000529	54.6	0.000000	0.000264	0.000264
1	47	4.8	0	0	24
0.024	0.000576	59.4	0.000000	0.000288	0.000288
1	49	5.1	0	0	24
0.025	0.000625	1 04.5	0.000000	0.000312	0.000312
1	51	5.2	0	0	26
0.026	0.000676	1 09.7	0.000000	0.000338	0.000338
1	53	5.5	0	0	26
0.027	0.000729	1 15.2	0.000000	0.000364	0.000364
1	55	5.7	0	0	28
0.028	0.000784	1 20.9	0.000000	0.000392	0.000392
1	57	5.8	0	0	28
0.029	0.000841	1 26.7	0.000000	0.000420	0.000420
1	59	6.1	0	0	30
0.030	0.000900	1 32.8	0.000000	0.000450	0.000450
1	61	6.3	0	0	30
0.031	0.000961	1 39.1	0.000000	0.000480	0.000480
1	63	6.5	0	0	32
0.032	0.001024	1 45.6	0.000000	0.000512	0.000512
1	65	6.7	0	0	32
0.033	0.001089	1 52.3	0.000000	0.000544	0.000544
1	67	6.9	0	0	34
0.034	0.001156	1 59.2	0.000000	0.000578	0.000578
1	69	7.1	0	0	34
0.035	0.001225	2 06.3	0.000000	0.000612	0.000612
1	71	7.4	0	0	36
0.036	0.001296	2 13.7	0.000000	0.000648	0.000648
1	73	7.5	0	0	36
0.037	0.001369	2 21.2	0.000000	0.000684	0.000684
1	75	7.7	0	0	38
0.038	0.001444	2 28.9	0.000000	0.000722	0.000722
1	77	8.0	0	0	38
0.039	0.001521	2 36.9	0.000000	0.000760	0.000760
1	79	8.1	0	0	40
0.040	0.001600	2 45.0	0.000000	0.000800	0.000800
1	81	8.4	0	0	40
0.041	0.001681	2 53.4	0.000000	0.000840	0.000840
1	83	8.5	0	0	42
0.042	0.001764	3 01.9	0.000000	0.000882	0.000882
1	85	8.8	0	0	42
0.043	0.001849	3 10.7	0.000000	0.000924	0.000924
1	87	9.0	0	0	44
0.044	0.001936	3 19.7	0.000000	0.000968	0.000968
1	89	9.1	0	0	44
0.045	0.002025	3 28.8	0.000000	0.001012	0.001012
1	91	9.4	0	0	46
0.046	0.002116	3 38.2	0.000000	0.001058	0.001058
1	93	9.6	0	0	46
0.047	0.002209	3 47.8	0.000000	0.001104	0.001104
1	95	9.8	0	0	48
0.048	0.002304	3 57.6	0.000000	0.001152	0.001152
1	97	10.0	0	0	48
0.049	0.002401	4 07.6	0.000000	0.001200	0.001200
1	99	10.2	0	0	50
0.050	0.002500	4 17.8	0.000000	0.001250	0.001250
1	101	10.4	0	0	50
0.051	0.002601	4 28.2	0.000000	0.001300	0.001300
1	103	10.7	0	0	52
0.052	0.002704	4 38.9	0.000000	0.001352	0.001352
1	105	10.8	0	0	52
0.053	0.002809	4 49.7	0.000000	0.001404	0.001404
1	107	11.0	0	0	54
0.054	0.002916	5 00.7	0.000000	0.001458	0.001458
1	109	11.3	0	0	54
0.055	0.003025	5 12.0	0.000000	0.001512	0.001512
1	111	11.4	0	0	56
0.056	0.003136	5 23.4	0.000000	0.001568	0.001568
1	113	11.7	0	0	56
0.057	0.003249	5 35.1	0.000000	0.001624	0.001624
1	115	11.8	0	0	58
0.058	0.003364	5 46.9	0.000000	0.001682	0.001682
1	117	12.1	1	1	58
0.059	0.003481	5 59.0	0.000001	0.001740	0.001740
1	119	12.3	0	0	60
0.060	0.003600	6 11.3	0.000001	0.001800	0.001800
1	121	12.5	0	0	60
0.061	0.003721	6 23.8	0.000001	0.001860	0.001860
1	123	12.6	0	0	62
0.062	0.003844	6 36.4	0.000001	0.001922	0.001922
1	125	12.9	0	0	62
0.063	0.003969	6 49.3	0.000001	0.001984	0.001984
1	127	13.1	0	0	64
0.064	0.004096	7 02.4	0.000001	0.002048	0.002048
1	129	13.3	0	0	64
0.065	0.004225	7 15.7	0.000001	0.002112	0.002112
1	131	13.5	0	0	66
0.066	0.004356	7 29.2	0.000001	0.002178	0.002178
1	133	13.8	0	0	66
0.067	0.004489	7 43.0	0.000001	0.002244	0.002244
1	135	13.9	0	0	68
0.068	0.004624	7 56.9	0.000001	0.002312	0.002312
1	137	14.1	0	0	68
0.069	0.004761	8 11.0	0.000001	0.002380	0.002380
1	139	14.3	0	0	70
0.070	0.004900	8 25.3	0.000001	0.002450	0.002450
1	141	14.6	0	0	70
0.071	0.005041	8 39.9	0.000001	0.002520	0.002520
1	143	14.7	0	0	72
0.072	0.005184	8 54.6	0.000001	0.002592	0.002592
1	145	15.0	0	0	72
0.073	0.005329	9 09.6	0.000001	0.002664	0.002664
1	147	15.2	0	0	74
0.074	0.005476	9 24.8	0.000001	0.002738	0.002738
1	149	15.3	0	0	74
0.075	0.005625	9 40.1	0.000001	0.002812	0.002812
1	151	15.6	0	0	76
0.076	0.005776	9 55.7	0.000001	0.002888	0.002888
1	153	15.8	0	0	76
0.077	0.005929	10 11.5	0.000001	0.002964	0.002964
1	155	16.0	1	1	78
0.078	0.006084	10 27.5	0.000002	0.003042	0.003042
1	157	16.1	0	0	78
0.079	0.006241	10 43.6	0.000002	0.003120	0.003120
1	159	16.4	0	0	80
0.080	0.006400	11 00.0	0.000002	0.003200	0.003200

(0.080~0.160)

$l$	$l^2$	$r$	$\Delta r/r$	$l \cdot xM$	$l$	$l^2$	$r$	$\Delta r/r$	$l \cdot xM$
0.080	0.006400	11 00.0	0.000002	0.003200	0.120	0.014400	24 45.1	0.000009	0.007200
1	161	16.7	0	80	1	241	24.9	0	120
0.081	0.006561	11 16.7	0.000002	0.003280	0.121	0.014641	25 10.0	0.000009	0.007320
1	163	16.8	0	82	1	243	25.0	0	122
0.082	0.006724	11 33.5	0.000002	0.003362	0.122	0.014884	25 35.0	0.000009	0.007442
1	165	17.0	0	82	1	245	25.3	1	122
0.083	0.006889	11 50.5	0.000002	0.003444	0.123	0.015129	26 00.3	0.000010	0.007564
1	167	17.2	0	84	1	247	25.5	0	124
0.084	0.007056	12 07.7	0.000002	0.003528	0.124	0.015376	26 25.8	0.000010	0.007688
1	169	17.4	0	84	1	249	25.6	0	124
0.085	0.007225	12 25.1	0.000002	0.003612	0.125	0.015625	26 51.4	0.000010	0.007812
1	171	17.7	0	86	1	251	25.9	1	126
0.086	0.007396	12 42.8	0.000002	0.003698	0.126	0.015876	27 17.3	0.000011	0.007938
1	173	17.8	0	86	1	253	26.1	0	126
0.087	0.007569	13 00.6	0.000002	0.003784	0.127	0.016129	27 43.4	0.000011	0.008064
1	175	18.1	0	88	1	255	26.3	0	128
0.088	0.007744	13 18.7	0.000002	0.003872	0.128	0.016384	28 09.7	0.000011	0.008192
1	177	18.2	1	88	1	257	26.5	1	128
0.089	0.007921	13 36.9	0.000003	0.003960	0.129	0.016641	28 36.2	0.000012	0.008320
1	179	18.5	0	90	1	259	26.7	0	130
0.090	0.008100	13 55.4	0.000003	0.004050	0.130	0.016900	29 02.9	0.000012	0.008450
1	181	18.6	0	90	1	261	27.0	0	130
0.091	0.008281	14 14.0	0.000003	0.004140	0.131	0.017161	29 29.9	0.000012	0.008580
1	183	18.9	0	92	1	263	27.1	1	132
0.092	0.008464	14 32.9	0.000003	0.004232	0.132	0.017424	29 57.0	0.000013	0.008712
1	185	19.1	0	92	1	265	27.3	0	132
0.093	0.008649	14 52.0	0.000003	0.004324	0.133	0.017689	30 24.3	0.000013	0.008844
1	187	19.3	0	94	1	267	27.5	0	134
0.094	0.008836	15 11.3	0.000003	0.004418	0.134	0.017956	30 51.8	0.000013	0.008978
1	189	19.5	0	94	1	269	27.8	1	134
0.095	0.009025	15 30.8	0.000003	0.004512	0.135	0.018225	31 19.6	0.000014	0.009112
1	191	19.7	1	96	1	271	27.9	0	136
0.096	0.009216	15 50.5	0.000004	0.004608	0.136	0.018496	31 47.5	0.000014	0.009248
1	193	19.9	0	96	1	273	28.2	1	136
0.097	0.009409	16 10.4	0.000004	0.004704	0.137	0.018769	32 15.7	0.000015	0.009384
1	195	20.1	0	98	1	275	28.4	0	138
0.098	0.009604	16 30.5	0.000004	0.004802	0.138	0.019044	32 44.1	0.000015	0.009522
1	197	20.3	0	98	1	277	28.5	1	138
0.099	0.009801	16 50.8	0.000004	0.004900	0.139	0.019321	33 12.6	0.000016	0.009660
1	199	20.5	0	100	1	279	28.8	0	140
0.100	0.010000	17 11.3	0.000004	0.005000	0.140	0.019600	33 41.4	0.000016	0.009800
1	201	20.8	0	100	1	281	29.0	0	140
0.101	0.010201	17 32.1	0.000004	0.005100	0.141	0.019881	34 10.4	0.000016	0.009940
1	203	20.9	1	102	1	283	29.2	1	142
0.102	0.010404	17 53.0	0.000005	0.005202	0.142	0.020164	34 39.6	0.000017	0.010082
1	205	21.1	0	102	1	285	29.4	0	142
0.103	0.010609	18 14.1	0.000005	0.005304	0.143	0.020449	35 09.0	0.000017	0.010224
1	207	21.4	0	104	1	287	29.6	1	144
0.104	0.010816	18 35.5	0.000005	0.005408	0.144	0.020736	35 38.6	0.000018	0.010368
1	209	21.5	0	104	1	289	29.8	0	144
0.105	0.011025	18 57.0	0.000005	0.005512	0.145	0.021025	36 08.4	0.000018	0.010512
1	211	21.8	0	106	1	291	30.0	1	146
0.106	0.011236	19 18.8	0.000005	0.005618	0.146	0.021316	36 38.4	0.000019	0.010658
1	213	22.0	0	106	1	293	30.2	0	146
0.107	0.011449	19 40.8	0.000005	0.005724	0.147	0.021609	37 08.6	0.000019	0.010804
1	215	22.1	1	108	1	295	30.4	1	148
0.108	0.011664	20 02.9	0.000006	0.005832	0.148	0.021904	37 39.0	0.000020	0.010952
1	217	22.4	0	108	1	297	30.6	1	148
0.109	0.011881	20 25.3	0.000006	0.005940	0.149	0.022201	38 09.6	0.000021	0.011100
1	219	22.6	0	110	1	299	30.9	0	150
0.110	0.012100	20 47.9	0.000006	0.006050	0.150	0.022500	38 40.5	0.000021	0.011250
1	221	22.8	0	110	1	301	31.0	1	150
0.111	0.012321	21 10.7	0.000006	0.006160	0.151	0.022801	39 11.5	0.000022	0.011400
1	223	23.0	1	112	1	303	31.3	0	152
0.112	0.012544	21 33.7	0.000007	0.006272	0.152	0.023104	39 42.8	0.000022	0.011552
1	225	23.2	0	112	1	305	31.4	1	152
0.113	0.012769	21 56.9	0.000007	0.006384	0.153	0.023409	40 14.2	0.000023	0.011704
1	227	23.4	0	114	1	307	31.7	0	154
0.114	0.012996	22 20.3	0.000007	0.006498	0.154	0.023716	40 45.9	0.000023	0.011858
1	229	23.6	0	114	1	309	31.9	1	154
0.115	0.013225	22 43.9	0.000007	0.006612	0.155	0.024025	41 17.8	0.000024	0.012012
1	231	23.8	1	116	1	311	32.0	1	156
0.116	0.013456	23 07.7	0.000008	0.006728	0.156	0.024336	41 49.8	0.000025	0.012168
1	233	24.1	0	116	1	313	32.3	0	156
0.117	0.013689	23 31.8	0.000008	0.006844	0.157	0.024649	42 22.1	0.000025	0.012324
1	235	24.2	0	118	1	315	32.5	1	158
0.118	0.013924	23 56.0	0.000008	0.006962	0.158	0.024964	42 54.6	0.000026	0.012482
1	237	24.5	0	118	1	317	32.7	1	158
0.119	0.014161	24 20.5	0.000008	0.007080	0.159	0.025281	43 27.3	0.000027	0.012640
1	239	24.6	1	120	1	319	32.9	0	160
0.120	0.014400	24 45.1	0.000009	0.007200	0.160	0.025600	44 00.2	0.000027	0.012800

## ロ) 角 度

$\tau: \angle \overline{MO}, \overline{M, KE} = \tau$  である.

$\theta/2: \angle \overline{MO}, \overline{M, I.P} = \theta/2$  である. そして,  $\theta$  は道路交角である.

## ハ) 長さ

$\overline{MO}$ : 直線  $\overline{MO}$  の長さは  $1 + \Delta r/r$  である.

$l^2$ : 点 KA から点 KE にいたるクロソイド長である.

$\Delta r/r$ : 単位円と  $X$  軸の距離である.

$l \cdot xM$ : 点 O から点 KA にいたる距離である.

単位クロソイド  $(UR, \bar{K})$  を以上のように表現すると, 一般に  $(UR, \bar{K})$  は, 測線と距離  $\Delta r/r$  だけ離れた単位円が測線との間に作る単位クロソイドであるといえることができる.

## 2.4.4 測線とクロソイド

表 2.21 に示した諸要素を  $R$  倍するとクロソイド  $(\bar{K})$  の諸要素となる (表 2.19 参照). したがって, 一般に  $(\bar{K})$  は, 測線と距離  $\Delta R$  だけ離れた半径  $R$  の円が測線との間に作るクロソイドであるといえることができる. ただし, 理論的には, 測線と距離  $\Delta R$  だけ離れた半径  $R$  の円が測線との間に作るクロソイドは, 半径  $R$  の円の中心をとおり, 測線と直交する直線を対称軸とする 2 つのクロソイドである (図 4.7 参照).

2.4.5  $(UR, \bar{K})$  の単位平面線形

単位クロソイド  $(UR, \bar{K})$  と単位平面線形  $(UR, C)$ ,  $(UR, C-K)$ ,  $(UR, K)$  の関係を示すと, 次のようである. ここに, 円ークロソイドを  $(C-K)$ , 凸形クロソイドを  $(K)$  で示す.

イ)  $(UR, C)$ : 直線  $\overline{MP}$  を対称軸とする 2 つの  $(UR, \bar{K})$  は,  $(UR, C)$  である. ただし,  $(UR, \bar{K})$  の接線角  $\tau$  は,  $\tau=0$  である (図 2.8.1 参照).

ロ)  $(UR, C-K)$ : 直線  $\overline{MP}$  を対称軸とする 2 つの  $(UR, \bar{K})$  は,  $(UR, C-K)$  である. ただし,  $(UR, \bar{K})$  の接線角  $\tau$  は,  $0 < \tau$ , そして,  $\tau < \theta/2$  である (図 2.8.2 参照).

ハ)  $(UR, K)$ : 直線  $\overline{MP}$  を対称軸とする 2 つの  $(UR, \bar{K})$  は  $(UR, K)$  である. ただし,  $(UR, \bar{K})$  の接線角  $\tau$  は,  $0 < \tau$ , そして,  $\theta/2 = \tau$  である (図 2.8.3 参照).

## 2.5 円クロソイド

自動車が角度  $\theta$  の方向転換をするときにおける最も一般的な走行軌跡は3つの平面線形 ( $\bar{K}$ ), ( $C$ ), ( $\bar{K}$ ) から成立している. これを円クロソイドと呼び ( $C-K$ ) で示す (図2.10 参照). これについて述べよう.

### 2.5.1 記号と公式

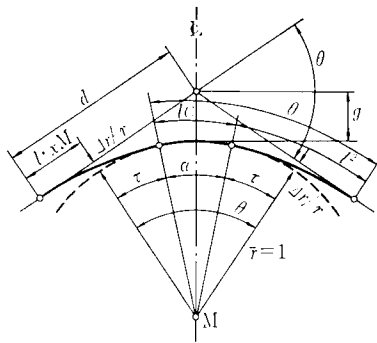
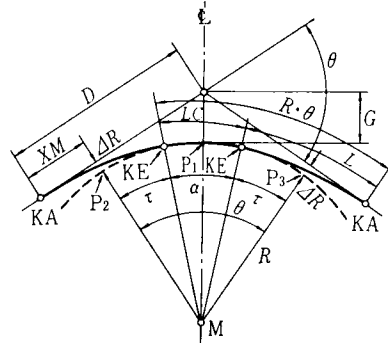
図 2.9 ( $UR, C-K$ )図 2.10 ( $C-K$ )

表 2.22 単位平面線形と平面線形の諸要素

諸要素	分類	Rを単位とする単位平面線形			平面線形		
		(UR, C)	(UR, C-K)	(UR, K)	(C)	(C-K)	(K)
道路交角	イ	$\theta$	$\theta = \alpha + 2\tau$	$\theta = 2\tau$	$\theta$	$\theta = \alpha + 2\tau$	$\theta = 2\tau$
接線角		0	$0 \leq \tau \leq \theta/2$	$\tau = \theta/2$	0	$0 \leq \tau \leq \theta/2$	$\tau = \theta/2$
外線長	ロ	$\bar{g} = \sec(\theta/2) - 1$	$g = \bar{g}(1 + \Delta r/r) + \Delta r/r$	$g = \bar{g}(1 + \Delta r/r) + \Delta r/r$	$G = R \cdot \bar{g}$	$G = R \cdot g$	$G = R \cdot g$
パラメーター		0	$l$	$l = \theta^{1/2}$	0	$A = R \cdot l$	$A = R \cdot l = R \cdot \theta^{1/2}$
曲率半径		$\bar{r} = 1$			R		
接線長		$\bar{d} = \tan(\theta/2)$	$d = \bar{d}(1 + \Delta r/r) + l \cdot xM$	$d = \bar{d}(1 + \Delta r/r) + l \cdot xM$	$D = R \cdot \bar{d}$	$D = R \cdot d$	$D = R \cdot d$
クロソイド長		0	$l^2$	$l^2 = \theta$	0	$L = R \cdot l^2$	$L = R \cdot l^2 = R \cdot \theta$
単曲線長		$\theta$	$lC = \theta - l^2$	0	$LC = R \cdot \theta$	$LC = R \cdot lC = R \cdot \theta - L$	0
曲線長		$\theta$	$Cl = \theta + l^2$	$Cl = 2\theta$	$R \cdot \theta$	$CL = R \cdot Cl = R \cdot \theta + L$	$CL = 2R \cdot \theta$
移程量		0	$\Delta r/r$	$\Delta r/r$	0	$\Delta R = R(\Delta r/r)$	$\Delta R = R(\Delta r/r)$
接線角/道路交角	ハ	0	$0 \leq \tau/\theta \leq 1/2$	$\tau/\theta = 1/2$	0	$0 \leq \tau/\theta \leq 1/2$	$\tau/\theta = 1/2$
単曲線長/クロソイド長		$\infty$	$lC/l^2$	0	$\infty$	$LC/L$	0

注1)  $\theta$ (接線角/道路交角)  $\times 2 = \theta(l^2/2\theta) \times 2 = l^2$  である.

2)  $l^2$ (単曲線長/クロソイド長)  $= lC$  である.

(UR, C-K), (C-K) の諸要素を図 2.9, 2.10 のようにきめると, これらの諸要素は表 2.22 に示した式から得られる. 表 2.22 について述べよう.

(1) (UR, C-K)

イ) パラメーター: パラメーターは  $1/r=l$  である.

ロ) 外線長: 半径を  $1+\Delta r/r$  とする単曲線の外線長は  $\bar{g}(1+\Delta r/r)$  である. したがって,  $g=\bar{g}(1+\Delta r/r)+\Delta r/r$  となる.

ハ) 接線長: 半径を  $1+\Delta r/r$  とする単曲線の接線長は  $\bar{d}(1+\Delta r/r)$  である. したがって,  $d=\bar{d}(1+\Delta r/r)+l \cdot xM$  となる.

ニ) 単曲線長: 式  $\theta=\alpha+2\tau$  において,  $\alpha=lC$ ,  $\tau=l^2/2$  であるから  $lC=\theta-l^2$  となる.

(UR, C-K) は 2 つの変数  $\theta$  と  $\tau(=l^2/2)$  の関数である. 表 2.22 の (UR, C-K) の欄に示した式に  $\tau=0$  を代入すると (UR, C) の式が得られる. そして,  $\tau=\theta/2$  を代入すると (UR, K) の式が得られる (図 2.11, 2.12, 2.13, 2.14 参照).

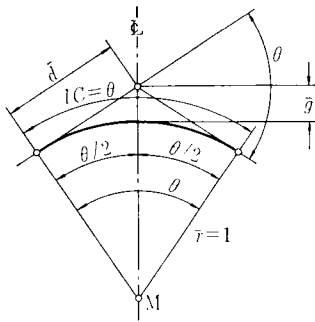


図 2.11 (UR, C)

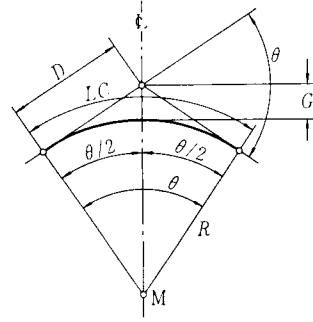


図 2.12 (C)

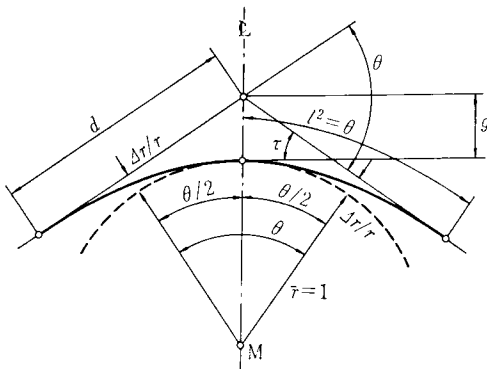


図 2.13 (UR, K)

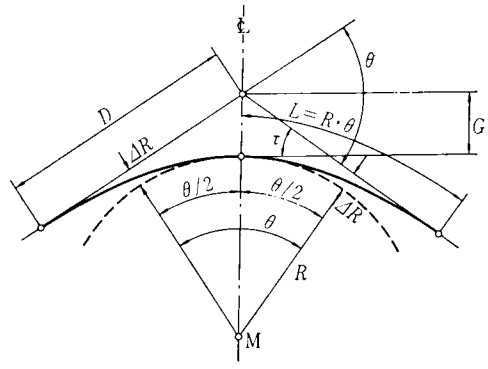


図 2.14 (K)

(2) (C-K)

円クロソイド (C-K) は, 式  $(C-K)=R(UR, C-K)$  から得られる.

2.5.2 広義と狭義

(UR, C), (UR, K) を含む (UR, C-K) を広義の (UR, C-K), そして, (UR, C),

(UR, K) を含まない (UR, C-K) を狭義の (UR, C-K) と呼ぶ。したがって、記号 (UR, C-K) を広義に用いる場合と狭義に用いる場合がある。平面線形 (C-K) についても同様とする。

### 2.5.3 諸要素の動き

単位平面線形 (UR, C-K), (UG, C-K), (UD, C-K) は、変数  $\theta$  を一定とすると変数  $\tau$  の関数となる。 $\theta$  を一定とする場合、 $\tau$  が  $\tau=0$  を始点として増加し、終点  $\tau=\theta/2$  にいたるときにおける諸要素の動きは、表 2.23 のようである。始点と終点の状態を図示すると図 2.15.1～図 2.15.3 のようである。

表 2.23 諸要素の動き

諸要素	(UR, C-K)			(UG, C-K)	(UD, C-K)
	始点	動き	終点	動き	動き
道路交角	$\theta$ (一定)				
接線角	0	+	$\theta/2$	+	+
外線長	$\frac{0}{\theta}$	+	最大	一定	-
パラメーター	0	+	$\theta^{1/2}$	+	+
曲率半径	$\bar{r}=1$			-	-
接線長	$\bar{d}$	+	最大	+	一定
クロソイド長	0	+	$\theta$	+	+
単曲線長	$\theta$	-	0	-	-
曲線長	$\theta$	+	$2\theta$	+	+
移程量	0	+	最大	+	+
接線角/道路交角	0	+	$1/2$	+	+
単曲線長/クロソイド長	$\infty$	-	0	-	-

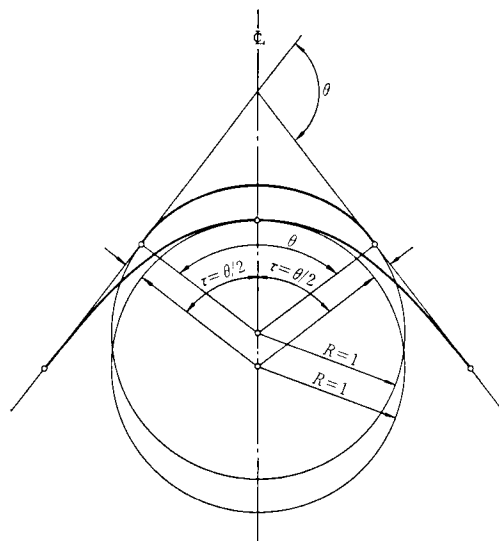


図 2.15.1 (UR, C-K)

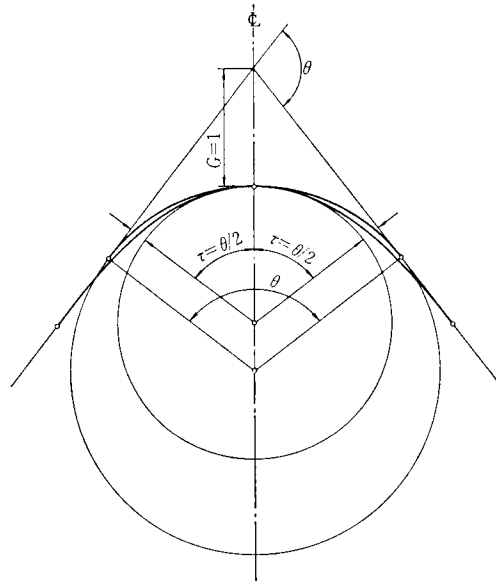


図 2.15.2 (UG, C-K)

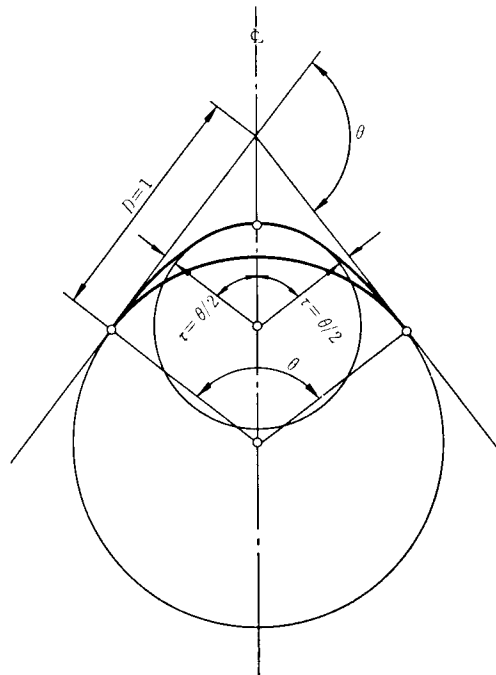


図 2.15.3 (UD, C-K)

## 2.5.4 自由度

狭義の (C-K) の自由度は 3 である。そして、(C), (K) の自由度は 2 である。

2.5.5  $\theta\tau$  平面

道路交角  $\theta$  の変域を  $0 \leq \theta \leq 180^\circ$  とすると、(UR, C-K) における変数  $\theta$ ,  $\tau$  の変域は  $\theta\tau$  平



面上の三角形  $OAB$  となる。ただし、点  $A, B$  の座標はそれぞれ、 $(180^\circ, 0)$ ,  $(180^\circ, 90^\circ)$  である (図 2.16 参照)。(UR, C-K), (C-K) と三角形  $OAB$  の対応を示すと、次のようである。ただし、点  $O$  は除く。

イ) (UR, C-K) は、三角形  $OAB$  上の点と 1 対 1 で対応する。

ロ) (UR, C) は、三角形の 1 辺  $OA$  上の点と 1 対 1 で対応する。

ハ) (UR, K) は、三角形の 1 辺  $OB$  上の点と 1 対 1 で対応する。

ニ) (C-K) は、三角形  $OAB$  上の点に対応する。

ホ) (C) は、三角形の 1 辺  $OA$  上の点に対応する。

ヘ) (K) は、三角形の 1 辺  $OB$  上の点に対応する。

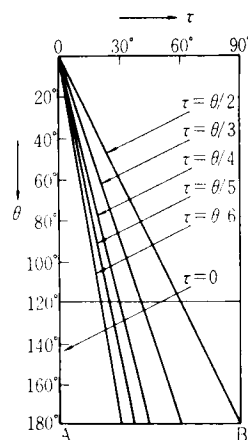


図 2.16  $\theta\tau$  平面

## 2.5.6 諸要素の分類

(UR, C-K), (C-K) の諸要素は、表 2.22 のように分類することができる。

## 2.5.7 曲線長の比

(C-K), (UR, C-K) の曲線長に関する諸要素の比を示すと、表 2.24 のようである。これについて述べよう。

表 2.24 (C-K), (UR, C-K) における曲線長の比

変数	比	(C-K)	$L/R \cdot \theta$	$LC/R \cdot \theta$	$CL/R \cdot \theta$	$CL/LC$	$L/LC$	$L : LC : L$
	(UR, C-K)	$l^2/\theta$	$lC/\theta$	$Cl/\theta$	$Cl/lC$	$l^2/lC$	$l^2 : lC : l^2$	
$\theta, \tau$	$\tau/\theta$	$2\tau/\theta$	$\alpha/\theta$	$\bar{\alpha}/\theta$	$\bar{\alpha}/\alpha$	$2\tau/\alpha$	$2\tau : \alpha : 2\tau$	
$m$	$1/m$	$2/m$	$(m-2)/m$	$(m+2)/m$	$(m+2)/(m-2)$	$2/(m-2)$	$2 : (m-2) : 2$	
$a$	$1/2(a+1)$	$1/(a+1)$	$a/(a+1)$	$(a+2)/(a+1)$	$(a+2)/a$	$1/a$	$1 : a : 1$	

注)  $\theta - 2\tau = \alpha$ ,  $\theta + 2\tau = \bar{\alpha}$  である。

イ)  $\theta, \tau$ ; 曲線長の比は、 $\theta, \tau$  の関数である。

ロ)  $m$ ;  $\tau/\theta = 1/m$  とおくと、曲線長の比は  $m$  の関数となる。

ハ)  $a$ ;  $L : LC : L = 1 : a : 1$  とおくと、曲線長の比は  $a$  の関数となる。

表 2.24 を用いて、(C-K) における変数  $m$  と曲線長の比の計算例を示すと、表 2.25 のようである。

## 2.5.8 数表 1

数表 1 を用いると、単曲線 (C), 凸形クロソイド (K) および単曲線長のクロソイド長に対する比  $LC/L = a$  を 2.0, 1.5, 1.0, 0.5 とする円-クロソイド (C-K) が得られる。数表 1 について述べよう (図 2.16 と表 2.29 参照)。

### (1) 公 式

数表は、(UR, C-K) の諸要素を道路交角  $\theta$  の関数として求めている。電子計算機に入力した

表 2.25 変数  $m$  と  $(C-K)$ ,  $(UR, C-K)$  における曲線長の比

$m$	比 $\tau/\theta$	$L/R \cdot \theta$	$LC/R \cdot \theta$	$CL/R \cdot \theta$	$CL/LC$	$L/LC$	$L : LC : L$	番 号	自 由 度	記 号
		$l^2/\theta$	$lC/\theta$	$Cl/\theta$	$Cl/lC$	$l^2/lC$	$l^2 : lC : l^2$			
2	0.5	1.0	0	2.0	$\infty$	$\infty$		①	2	(K)
2.6	0.375	0.75	0.25	1.75	7.0	3.0	1:0.3:1	⑦	3	(C-K)
3	0.3	0.6	0.3	1.6	5.0	2.0	1:0.5:1	"	"	"
4	0.25	0.5	0.5	1.5	3.0	1.0	1:1:1	④	"	"
5	0.2	0.4	0.6	1.4	2.3	0.6	1:1.5:1	"	"	"
6	0.16	0.3	0.6	1.3	2.0	0.5	1:2:1	"	"	"
8	0.125	0.25	0.75	1.25	1.6	0.3	1:3:1	②	"	"
10	0.1	0.2	0.8	1.2	1.5	0.25	1:4:1	"	"	"
12	0.083	0.16	0.83	1.16	1.4	0.2	1:5:1	"	"	"
$\infty$	0	0	1.0	1.0	1.0	0		①	2	(C)

注1) 自由度は、平面線形の自由度を示す。

2) 番号は、 $\tau_1/\theta$ ,  $\tau_2/\theta$  平面上の点を示す (図 2.19 参照)。

3) ・印は、循環少数であることを示す。

公式は、次のようである。

イ) 曲線長:  $lC = \theta$

ロ) 外線長:  $g = \{\sec(\theta/2) - 1\} \{l \cdot y + \cos(l^2/2)\} + l \cdot y + \cos(l^2/2) - 1$

ハ) 接線長:  $d = \{\tan(\theta/2)\} \{l \cdot y + \cos(l^2/2)\} + l \cdot x - \sin(l^2/2)$

ニ) 移程量:  $\Delta r/r = l \cdot y + \cos(l^2/2) - 1$

ここに、

$$x = l(1 - l^4/40 + l^8/3456 - l^{12}/599040 + l^{16}/175472640 - l^{20}/78033715200 \\ + l^{24}/49049763840000)$$

$$y = (l^3/6)(1 - l^4/56 + l^8/7040 - l^{12}/1612800 + l^{16}/588349440 - l^{20}/313373491200 \\ + l^{24}/229552894771200)$$

表 2.26  $l$  と  $\theta$  の 関 係

$lC/l^2$	$\tau/\theta$	$l^2$	単位平面線形
0	1/2	$\theta$	(UR, K)
0.5	1/3	$\theta/1.5$	(UR, C-K)
1.0	1/4	$\theta/2$	"
1.5	1/5	$\theta/2.5$	"
2.0	1/6	$\theta/3$	"
$\infty$	0	0	(UR, C)

である。そして、 $l$  と  $\theta$  の関係は表 2.26

を参照されたい。

(2) 自 由 度

数表 1 に示した 6 種類の  $(UR, C-K)$

の自由度はすべて 1 である。

(3) 表 示 例

注) 図 2.16 を参照されたい。

$\theta = 30^\circ 00'$  における数表の表示例は、表 2.27.1, 2.27.2 のようである。表 2.27.1 は紙面の左の頁に、そして、表 2.27.2 は右の頁に示した。

表 2.27.1 数表 1 の 表 示 例 (左の頁)

$\tau$	$\tau = 0$			$\tau = \theta/6 (LC/L = 2.0)$			$\tau = \theta/5 (LC/L = 1.5)$		
	$l^2 = 0$	$lC = \theta$	$Cl = \theta$	$l^2 = \theta/3$ $= Cl/4$	$lC = 2\theta/3$ $= 2l^2$	$Cl = 4\theta/3$ $= 2lC$	$l^2 = \theta/2.5$ $= Cl/3.5$	$lC = 3\theta/5$ $= 1.5l^2$	$Cl = 7\theta/5$ $= 7lC/3$
$\theta$	$\theta$	$\bar{g}$	$\bar{d}$	$\Delta r/r$	$g$	$d$	$\Delta r/r$	$g$	$d$
$30^\circ 00'$	0.523599	0.035276	0.267949	0.001269	0.036590	0.355534	0.001827	0.037168	0.373120

表 2.27.2 数表 1 の表示例 (右の頁)

$\tau=\theta/4(LC/L=1.0)$ $l^2=\theta/2 \quad lC=\theta/2 \quad Cl=3\theta/2$ $=Cl/3 \quad =l^2 \quad =3lC$			$\tau=\theta/3(LC/L=0.5)$ $l^2=\theta/1.5 \quad lC=\theta/3 \quad Cl=5\theta/3$ $=Cl/2.5 \quad =0.5l^2 \quad =5lC$			$\tau=\theta/2(LC/L=0)$ $l^2=\theta \quad lC=0 \quad Cl=2\theta$			$\tau$  $\theta$
$\Delta r/r$	$g$	$d$	$\Delta r/r$	$g$	$d$	$\Delta r/r$	$g$	$d$	
0.002854	0.038231	0.399539	0.005071	0.040527	0.443664	0.011395	0.047073	0.532205	30°00'

## (4) 曲線長に関する諸要素の計算法

数表には、 $(UR, C-K)$  の曲線長に関する諸要素は示していない。これらの諸要素は、数表の左端に示した  $\theta$  すなわち  $(UR, C)$  の曲線長  $lC$  を用いて、次の方法で求めることができる。

- イ)  $\theta$  を  $\boxed{A}$  で除して、クロソイド長  $l^2$  を求める。
- ロ)  $l^2$  を  $\boxed{B}$  倍して、単曲線長  $lC$  を求める。
- ハ)  $lC$  を  $\boxed{C}$  倍して、曲線長  $Cl$  を求める。
- ニ)  $Cl$  を  $\boxed{D}$  で除して、クロソイド長  $l^2$  を求め、イ) で求めた  $l^2$  を照査する。
- ホ) 式  $l=(l^2)^{1/2}$  からパラメーター  $l$  を求める。

以上に対して  $\square$  内を埋めるのは、表 2.28 のようである。

表 2.28 諸要素を求める係数

$\tau$	$\theta/6$	$\theta/5$	$\theta/4$	$\theta/3$	摘 要
$LC/L$	2.0	1.5	1.0	0.5	
A	3	2.5	2	1.5	除, $l^2$
B	2	1.5	1	0.5	倍, $lC$
C	2	7/3	3	5	倍, $Cl$
D	4	3.5	3	2.5	除, $l^2$

注) 係数は数表に示している。

曲線長に関する諸要素は、卓上計算機を用いるとほとんどワンタッチで得られる。これらの諸要素を卓上計算機で求める場合、次に示す2つの方法がある。

- イ) 卓上計算機を少数点以下7位4捨5入6位どまりとしてセットし、6位まで読みとる方法。
- ロ) 卓上計算機を少数点以下8位4捨5入7位どまりとしてセットし、7位を4捨5入して6位まで読みとる方法。
- ロ) の方法を用いると、イ) の方法で生じる最大  $2 \times 10^{-6}$  程度の計算誤差を除くことができる。表 2.30 は、ロ) の方法で求めた値を示す。なお表 2.30 の \* 印は、イ) の方法とロ) の方法で求めた値が異なることを示す。一般にロ) の方法で求めるとよい。

(5)  $(UR, C-K)$  の計算例

$\theta=30^\circ 00'$  における  $(UR, C-K)$  の諸要素を求めると、表 2.30 のようである。

(6)  $(C-K)$  の計算法

数表 1 を用いて  $(C-K)$  を求める計算法は、次のようである。

- イ)  $(UR, C-K)$  を求める。

図 2.29 数 表 1

(0°00' ~ 3°00')

$\tau$ $\theta$	$\tau=0$			$\tau=\theta/6 (LC/L=2.0)$			$\tau=\theta/5 (LC/L=1.5)$		
	$l^2=0$	$lC=\theta$	$Cl=\theta$	$l^2=\theta/3$ $=Cl/4$	$lC=2\theta/3$ $=2l^2$	$Cl=4\theta/3$ $=2lC$	$l^2=\theta/2.5$ $=Cl/3.5$	$lC=3\theta/5$ $=1.5l^2$	$Cl=7\theta/5$ $=7lC/3$
	$\theta$	$\bar{g}$	$\bar{d}$	$\Delta\tau/r$	$g$	$d$	$\Delta\tau/r$	$g$	$d$
0°00'	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	1454	0	727	0	0	970	0	0	1018
05	0.001454	0.000000	0.000727	0.000000	0.000000	0.000970	0.000000	0.000000	0.001018
5	1455	1	727	0	1	969	0	1	1018
10	0.002909	0.000001	0.001454	0.000000	0.000001	0.001939	0.000000	0.000001	0.002036
5	1454	1	728	0	1	970	0	2	1018
15	0.004363	0.000002	0.002182	0.000000	0.000002	0.002909	0.000000	0.000003	0.003054
5	1455	2	727	0	2	970	0	1	1018
20	0.005818	0.000004	0.002909	0.000000	0.000004	0.003879	0.000000	0.000004	0.004072
5	1454	3	727	0	3	969	0	3	1019
25	0.007272	0.000007	0.003636	0.000000	0.000007	0.004848	0.000000	0.000007	0.005091
5	1455	3	727	0	3	970	1	3	1018
30	0.008727	0.000010	0.004363	0.000000	0.000010	0.005818	0.000001	0.000010	0.006109
5	1454	3	728	0	3	969	0	4	1018
35	0.010181	0.000013	0.005091	0.000000	0.000013	0.006787	0.000001	0.000014	0.007127
5	1455	4	727	1	5	970	0	4	1018
40	0.011636	0.000017	0.005818	0.000001	0.000018	0.007757	0.000001	0.000018	0.008145
5	1454	4	727	0	4	970	0	5	1018
45	0.013090	0.000021	0.006545	0.000001	0.000022	0.008727	0.000001	0.000023	0.009163
5	1454	5	727	0	5	969	0	5	1018
50	0.014544	0.000026	0.007272	0.000001	0.000027	0.009696	0.000001	0.000028	0.010181
5	1455	6	728	0	6	970	1	6	1018
55	0.015999	0.000032	0.008000	0.000001	0.000033	0.010666	0.000002	0.000034	0.011199
5	1454	6	727	0	6	970	0	6	1019
1°00'	0.017453	0.000038	0.008727	0.000001	0.000039	0.011636	0.000002	0.000040	0.012218
5	1455	7	727	1	7	969	0	7	1018
05	0.018908	0.000045	0.009454	0.000002	0.000046	0.012605	0.000002	0.000047	0.013236
5	1454	7	727	0	8	970	1	8	1018
10	0.020362	0.000052	0.010181	0.000002	0.000054	0.013575	0.000003	0.000055	0.014254
5	1455	7	728	0	8	970	0	8	1018
15	0.021817	0.000059	0.010909	0.000002	0.000062	0.014545	0.000003	0.000063	0.015272
5	1454	9	727	1	8	970	1	8	1018
20	0.023271	0.000068	0.011636	0.000003	0.000070	0.015515	0.000004	0.000071	0.016290
5	1454	8	727	0	9	969	0	9	1019
25	0.024725	0.000076	0.012363	0.000003	0.000079	0.016484	0.000004	0.000080	0.017309
5	1455	10	728	0	10	970	1	10	1018
30	0.026180	0.000086	0.013091	0.000003	0.000089	0.017454	0.000005	0.000090	0.018327
5	1454	9	727	1	10	970	0	11	1018
35	0.027634	0.000095	0.013818	0.000004	0.000099	0.018424	0.000005	0.000101	0.019345
5	1455	11	727	0	11	970	1	10	1018
40	0.029089	0.000106	0.014545	0.000004	0.000110	0.019394	0.000006	0.000111	0.020363
5	1454	11	728	0	11	969	0	12	1019
45	0.030543	0.000117	0.015273	0.000004	0.000121	0.020363	0.000006	0.000123	0.021382
5	1455	11	727	1	12	970	1	12	1018
50	0.031998	0.000128	0.016000	0.000005	0.000133	0.021333	0.000007	0.000135	0.022400
5	1454	12	728	0	12	970	0	12	1018
55	0.033452	0.000140	0.016728	0.000005	0.000145	0.022303	0.000007	0.000147	0.023418
5	1455	12	727	1	13	970	1	13	1019
2°00'	0.034907	0.000152	0.017455	0.000006	0.000158	0.023273	0.000008	0.000160	0.024437
5	1454	13	728	0	13	970	1	14	1018
05	0.036361	0.000165	0.018183	0.000006	0.000171	0.024243	0.000009	0.000174	0.025455
5	1454	14	727	1	14	970	1	14	1018
10	0.037815	0.000179	0.018910	0.000007	0.000185	0.025213	0.000010	0.000188	0.026473
5	1455	14	727	0	15	970	0	15	1019
15	0.039270	0.000193	0.019637	0.000007	0.000200	0.026183	0.000010	0.000203	0.027492
5	1454	14	728	1	15	970	1	15	1018
20	0.040724	0.000207	0.020365	0.000008	0.000215	0.027153	0.000011	0.000218	0.028510
5	1455	15	728	0	16	969	1	16	1019
25	0.042179	0.000222	0.021093	0.000008	0.000231	0.028122	0.000012	0.000234	0.029529
5	1454	16	727	1	16	970	1	17	1018
30	0.043633	0.000238	0.021820	0.000009	0.000247	0.029092	0.000013	0.000251	0.030547
5	1455	16	728	0	17	970	1	17	1018
35	0.045088	0.000254	0.022548	0.000009	0.000264	0.030062	0.000014	0.000268	0.031565
5	1454	17	727	1	17	970	0	17	1019
40	0.046542	0.000271	0.023275	0.000010	0.000281	0.031032	0.000014	0.000285	0.032584
5	1455	17	728	1	18	971	1	18	1019
45	0.047997	0.000288	0.024003	0.000011	0.000299	0.032003	0.000015	0.000303	0.033603
5	1454	18	728	0	18	970	1	19	1018
50	0.049451	0.000306	0.024731	0.000011	0.000317	0.032973	0.000016	0.000322	0.034621
5	1454	18	727	1	19	970	1	19	1019
55	0.050905	0.000324	0.025458	0.000012	0.000336	0.033943	0.000017	0.000341	0.035640
5	1455	19	728	1	19	970	1	20	1018
3°00'	0.052360	0.000343	0.026186	0.000013	0.000355	0.034913	0.000018	0.000361	0.036658

(0°00' ~ 3°00')

$\tau = \theta/4 (LC/L=1.0)$			$\tau = \theta/3 (LC/L=0.5)$			$\tau = \theta/2 (LC/L=0)$			$\tau$ °
$l^2 = \theta/2$ $= Cl/3$	$lC = \theta/2$ $= l^2$	$Cl = 3\theta/2$ $= 3lC$	$l^2 = \theta/1.5$ $= Cl/2.5$	$lC = \theta/3$ $= 0.5l^2$	$Cl = 5\theta/3$ $= 5lC$	$l^2 = \theta$	$lC = 0$	$Cl = 2\theta$	
$\Delta\tau/\tau$	$g$	$d$	$\Delta\tau/\tau$	$g$	$d$	$\Delta\tau/\tau$	$g$	$d$	$\theta$ °
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0°00'
0	0	1091	0	0	1212	0	0	1454	5
0.000000	0.000000	0.001091	0.000000	0.000000	0.001212	0.000000	0.000000	0.001454	05
0	1	1091	0	1	1212	0	1	1455	5
0.000000	0.000001	0.002182	0.000000	0.000001	0.002424	0.000000	0.000001	0.002909	10
0	2	1090	0	2	1212	1	2	1454	5
0.000000	0.000003	0.003272	0.000000	0.000003	0.003636	0.000001	0.000003	0.004363	15
0	2	1091	1	2	1212	0	3	1455	5
0.000000	0.000005	0.004363	0.000001	0.000005	0.004848	0.000001	0.000006	0.005818	20
1	2	1091	0	3	1212	1	3	1454	5
0.000001	0.000007	0.005454	0.000001	0.000008	0.006060	0.000002	0.000009	0.007272	25
0	3	1091	0	3	1212	1	4	1455	5
0.000001	0.000010	0.006545	0.000001	0.000011	0.007272	0.000003	0.000013	0.008727	30
0	4	1091	1	4	1212	1	4	1454	5
0.000001	0.000014	0.007636	0.000002	0.000015	0.008484	0.000004	0.000017	0.010181	35
0	4	1091	1	4	1212	2	6	1455	5
0.000001	0.000018	0.008727	0.000003	0.000019	0.009696	0.000006	0.000023	0.011636	40
1	5	1091	0	6	1212	1	6	1454	5
0.000002	0.000023	0.009818	0.000003	0.000025	0.010908	0.000007	0.000029	0.013090	45
0	6	1090	1	5	1212	2	6	1455	5
0.000002	0.000029	0.010908	0.000004	0.000030	0.012120	0.000009	0.000035	0.014545	50
1	6	1091	1	7	1213	2	8	1454	5
0.000003	0.000035	0.011999	0.000005	0.000037	0.013333	0.000011	0.000043	0.015999	55
0	6	1091	1	7	1212	2	8	1455	5
0.000003	0.000041	0.013090	0.000006	0.000044	0.014545	0.000013	0.000051	0.017454	1°00'
1	7	1091	1	7	1212	2	9	1454	5
0.000004	0.000048	0.014181	0.000007	0.000051	0.015757	0.000015	0.000060	0.018908	05
0	8	1091	1	9	1212	2	9	1455	5
0.000004	0.000056	0.015272	0.000008	0.000060	0.016969	0.000017	0.000069	0.020363	10
1	8	1091	1	8	1212	3	10	1454	5
0.000005	0.000064	0.016363	0.000009	0.000068	0.018181	0.000020	0.000079	0.021817	15
1	9	1091	1	10	1212	3	11	1455	5
0.000006	0.000073	0.017454	0.000010	0.000078	0.019393	0.000023	0.000090	0.023272	20
0	10	1091	1	10	1212	2	12	1454	5
0.000006	0.000083	0.018545	0.000011	0.000088	0.020605	0.000025	0.000102	0.024726	25
1	10	1091	2	10	1213	4	12	1455	5
0.000007	0.000093	0.019636	0.000013	0.000098	0.021818	0.000029	0.000114	0.026181	30
1	10	1091	1	12	1212	3	13	1455	5
0.000008	0.000103	0.020727	0.000014	0.000110	0.023030	0.000032	0.000127	0.027636	35
0	12	1091	2	11	1212	3	14	1454	5
0.000009	0.000115	0.021818	0.000016	0.000121	0.024242	0.000035	0.000141	0.029090	40
1	11	1091	1	13	1212	4	14	1455	5
0.000010	0.000126	0.022909	0.000017	0.000134	0.025454	0.000039	0.000155	0.030545	45
1	13	1091	2	13	1212	4	16	1455	5
0.000011	0.000139	0.024000	0.000019	0.000147	0.026666	0.000043	0.000171	0.032000	50
1	13	1091	2	14	1213	4	16	1454	5
0.000012	0.000152	0.025091	0.000021	0.000161	0.027879	0.000047	0.000187	0.033454	55
1	13	1091	2	14	1212	4	16	1455	5
0.000013	0.000165	0.026182	0.000023	0.000175	0.029091	0.000051	0.000203	0.034909	2°00'
1	14	1091	1	15	1212	4	17	1455	5
0.000014	0.000179	0.027273	0.000024	0.000190	0.030303	0.000055	0.000220	0.036364	05
1	15	1091	2	15	1213	5	18	1455	5
0.000015	0.000194	0.028364	0.000026	0.000205	0.031516	0.000060	0.000238	0.037819	10
1	15	1091	3	16	1212	4	19	1454	5
0.000016	0.000209	0.029455	0.000029	0.000221	0.032728	0.000064	0.000257	0.039273	15
1	16	1091	2	17	1212	5	19	1455	5
0.000017	0.000225	0.030546	0.000031	0.000238	0.033940	0.000069	0.000276	0.040728	20
2	16	1092	2	17	1213	5	21	1455	5
0.000019	0.000241	0.031638	0.000033	0.000255	0.035153	0.000074	0.000297	0.042183	25
1	17	1091	2	18	1212	5	20	1455	5
0.000020	0.000258	0.032729	0.000035	0.000273	0.036365	0.000079	0.000317	0.043638	30
1	17	1091	3	19	1213	6	22	1455	5
0.000021	0.000275	0.033820	0.000038	0.000292	0.037578	0.000085	0.000339	0.045093	35
2	18	1091	2	19	1212	5	22	1455	5
0.000023	0.000293	0.034911	0.000040	0.000311	0.038790	0.000090	0.000361	0.046548	40
1	19	1092	3	20	1213	6	23	1455	5
0.000024	0.000312	0.036003	0.000043	0.000331	0.040003	0.000096	0.000384	0.048003	45
1	19	1091	2	20	1212	6	24	1455	5
0.000025	0.000331	0.037094	0.000045	0.000351	0.041215	0.000102	0.000408	0.049458	50
2	20	1091	3	21	1213	6	24	1455	5
0.000027	0.000351	0.038185	0.000048	0.000372	0.042428	0.000108	0.000432	0.050913	55
2	20	1092	3	22	1212	6	25	1455	5
0.000029	0.000371	0.039277	0.000051	0.000394	0.043640	0.000114	0.000457	0.052368	3°00'

表2.30  $\theta=30^\circ 00'$  における  $(UR, C-K)$  の諸要素

線形		(UR, C)		(UR, C-K)				(UR, K)
諸要素								
道路交角 $\theta$		$30^{\circ}00' (=0.523599)$						
接線角 $\tau$		0	$\theta/6=5^{\circ}$	$\theta/5=6^{\circ}$	$\theta/4=7^{\circ}30'$	$\theta/3=10^{\circ}$	$\theta/2=15^{\circ}$	
外線長 $\overline{g}, g$		0.035276	0.036590	0.037168	0.038231	0.040527	0.047073	
パラメーター $l$		0	0.417772*	0.457646	0.511664	0.590818	0.723601	
曲率半径 $\overline{r}$		$\overline{r}=1.000000$						
接線長 $\overline{d}, d$		0.267949	0.355534	0.373120	0.399539	0.443664	0.532205	
クロソイド長 $l^2$		0	0.174533	0.209440	0.261800	0.349066	0.523599	
単曲線長 $lC$		0.523599	0.349066	0.314159*	0.261800	0.174533	0	
曲線長 $Cl$		0.523599	0.698132	0.733039*	0.785399*	0.872665	1.047198	
移程量 $\Delta r/r$		0	0.001269	0.001827	0.002854	0.005071	0.011395	
接線角/道路交角 $\tau/\theta$		0	0.166667	0.200000	0.250000	0.333333	0.500000	
単曲線長/クロソイド長 $lC/l^2$		$\infty$	2.000000	1.500000	1.000000	0.500000	0	

注)  $\tau/\theta=l^2/2\theta$  である。ロ) 式  $R=X_n/x_n$  から  $R$  を求める。ハ) 式  $(C-K)=R(UR, C-K)$  から  $(C-K)$  を求める。(7)  $(C-K)$  の計算例 $\theta=39^\circ 57' 20''$ ,  $\tau=9^\circ 57' 20'' (= \theta/4)$ ,  $L=50.0$  m を与えて,  $(C-K)$  を求めよう。

[解] 計算の結果を示すと, 表 2.31, 2.32 のようである。

表2.31 内挿法の計算

諸要素	$\theta$	$\theta$	$\Delta r/r$	$g$	$d$
(diff)	5'00''	1455	21	305	1198
①	39°55'00''	0.696677	0.005050	0.069270	0.538974
$\Delta$	2'20''	679	10	142	559
① + $\Delta$	39°57'20''	0.697356	0.005060	0.069412	0.539533

注)  $\alpha=140''/300''=0.466667$  である。表2.32  $(UR, C-K)$ ,  $(C-K)$  の計算

線形 諸要素	$(UR, C-K)$	$(C-K)$
道路交角	$\theta=39^\circ 57' 20'' (=0.697356)$	
接線角	$\tau=9^\circ 57' 20''$	
外線長	$g=0.069412$	$G=9.954$
パラメーター	$l=0.590490$	$A=84.676$
曲率半径	$\bar{r}=1.000000$	$R=143.399$
接線長	$d=0.539533$	$D=77.368$
クロソイド長	$l^2=0.348678$	$L=50.000$
単曲線長	$lC=0.348678$	$LC=50.000$
曲線長	$Cl=1.046034$	$CL=150.000$
移程量	$\Delta r/r=0.005060$	$\Delta R=0.726$
接線角/道路交角	0.250000	
単曲線長/クロソイド長	1.000000	

注)  $R=L/l^2=50.0/0.348678=143.398781$  である。

## (8) (C) の計算例

$\theta=30^\circ00'$ ,  $R=100.0$  m を与えて, (C) を求めよう.

〔解〕 計算の結果を示すと, 表 2.33 のようである.

表 2.33 (C) の 計 算 表

線 形				(UR, C)	(C)
諸 要 素					
道	路	交	角	$\theta=30^\circ00'$	
外	線	長		$\bar{\rho}=0.035276$	$G=3.528$
曲	率	半	径	$\bar{r}=1.000000$	$R=100.000$
接	線	長		$\bar{d}=0.267949$	$D=26.795$
曲	線	長		$lC=0.523599$	$LC=52.360$

## (9) (K) の計算例

$\theta=30^\circ00'$ ,  $R=100.0$  m を与えて, (K) を求めよう.

〔解〕 計算の結果を示すと, 表 2.34 のようである.

表 2.34 (K) の 計 算 表

線 形				(UR, K)	(K)
諸 要 素					
道	路	交	角	$\theta=30^\circ00' (=0.523599)$	
接	線	角		$\tau=15^\circ00'$	
外	線	長		$\rho=0.047073$	$G=4.707$
バ	ラ	メ	ー	$l=0.723601$	$A=72.360$
曲	率	半	径	$\bar{r}=1.000000$	$R=100.000$
接	線	長		$d=0.532205$	$D=53.221$
ク	ロ	ソ	イ	$l^2=0.523599$	$L=52.360$
曲	線	長		$Cl=1.047198$	$CL=104.720$
移	程	量		$\Delta r/r=0.011395$	$\Delta R=1.140$
接線角/道路交角				0.500000	
単曲線長/クロソイド長				0	

## 2.5.9 数 表 2

数表1の左端に示した単曲線表または, 一般に市販されている単曲線表と数表2を用いると, 図 2.16 に示した三角形 OAB 上の任意の点に対応する (C-K) が得られる. ただし, 数表1の左端に示した単曲線表における  $\theta$  の範囲は,  $0 \leq \theta \leq 120^\circ$  である. 数表2について述べよう.

## (1) 公 式

数表は,  $(UR, \bar{K})$  の諸要素を  $(UR, \bar{K})$  のパラメーター  $l$  の関数として求めている. 電子計算機に入力した公式は, 次のようである.

イ) クロソイド長:  $l^2$

ロ) 接線角:  $\tau=l^2/2$

ハ) 移程量:  $\Delta r/r=l \cdot y + \cos(l^2/2) - 1$

ニ) クロソイド原点の X 座標:  $l \cdot xM=l \cdot x - \sin(l^2/2)$

$x, y$  については, 数表1を参照されたい.

## (2) 表示例

$l=0.590$  の表示例は、表 2.35 のようである。

表 2.35 数表 2 の表示例

$l$	$l^2$	$\tau$	$\Delta r/r$	$l \cdot xM$
0.590	0.348100	9°58'20.4''	0.005043	0.173874
1	1181	2'01.8''	35	589

## (3) 諸要素の計算法

(UR, C-K) における諸要素の計算法は、次のようである。

- イ) 変数  $\theta$  を用いて、単曲線表から  $\theta$ ,  $\bar{g}$ ,  $\bar{d}$  を求める。
- ロ) 変数  $l$  を用いて、数表 2 から  $l^2$ ,  $\tau$ ,  $\Delta r/r$ ,  $l \cdot xM$  を求める。
- ハ) 次の式から (UR, C-K) の諸要素を求める。

$$g = \bar{g}(1 + \Delta r/r) + \Delta r/r \quad lC = \theta - l^2$$

$$d = \bar{d}(1 + \Delta r/r) + l \cdot xM \quad Cl = \theta + l^2$$

## (4) (C-K) の計算法

単曲線表と数表 2 を用いて、(C-K) を求める計算法は、次のようである。

- イ)  $\theta$ ,  $l$  を用いて、(UR, C-K) を求める。
- ロ) 式  $R = X_n/x_n$  から、 $R$  を求める。
- ハ) 式  $(C-K) = R(Ur, C-K)$  から (C-K) を求める。

## (5) 計算条件

(4)に示した計算法を用いて、(C-K) を求めることができる計算条件は、次のようである。

- a)  $\theta$  と (UR, C-K) における 1 つの要素  $l$ ,  $\tau$  または  $\Delta r/r$  および (C-K) において、長さの単位を持つ 1 つの要素  $X_n$  が与えられる場合
- b)  $\theta$  と (C-K) において、長さの単位を持つ 2 つの要素が与えられた場合 (表 2.36 参照)。
- c) (C-K) において、長さの単位を持つ 3 つの要素が与えられた場合 (表 2.37 参照)。

表 2.36 計算条件と解法

計算条件	解	法
A, R	$A/R=l$	
A, L	(1)R	
A, LC	(4)R	
A, CL	(6)R	
R, L	(1)A	
R, LC	(4)A	
R, CL	(6)A	
L, LC	(3)R, (1)A	
L, CL	(5)R, (1)A	
LC, CL	(7)R, (3)L, (1)A	
G, R	$\frac{1}{4}\Delta R$	
R, $\Delta R$	$\Delta R/R = \Delta r/r$	

注) 計算条件に  $\theta$  を省略した。

表 2.37 計算条件と解法

計算条件	解	法
A, R, LC	$\frac{1}{3}\alpha$ , $A/R=l$ , $\frac{1}{2}\theta$	
A, R, CL	(1)L, (5) $\theta$	
A, L, LC	(1)R, (3) $\theta$	
A, L, CL	(1)R, (5) $\theta$	
A, LC, CL	(8)L, (1)R, (3) $\theta$	
R, L, LC	(1)A, (3) $\theta$	
R, L, CL	(1)A, (5) $\theta$	
R, LC, CL	(7) $\theta$ , (8)L, (1)A	

注) 記号  $\frac{1}{3}\alpha$  は、表 2.38 の式  $\frac{1}{3}\alpha$  を用いて、 $\alpha$  を求めることを示す。



表 2.36, 2.37 に示した計算条件は, 表 2.38 に示した式を用いると, a) に示した計算条件となる。

表 2.38 (C-K) の 公 式

(1) $A^2=R \cdot L$	(2) $L=A^2/R$	(3) $LC=R \cdot \theta-L$
(4) $LC=R \cdot \theta-A^2/R$	(5) $CL=R \cdot \theta+L$	(6) $CL=R \cdot \theta+A^2/R$
(7) $R \cdot \theta=(LC+CL)/2$	(8) $CL=LC+2L$	(9) $L=2R \cdot \tau$
(10) $LC=R(\theta-2\tau)$	(11) $CL=R(\theta+2\tau)$	(12) $\alpha=\theta-2\tau$
$\bar{\alpha}=\theta+2\tau$	(13) $LC=R \cdot \alpha$	$CL=R \cdot \bar{\alpha}$
(14) $\Delta R=(R+G)\cos(\theta/2)-R$		

注) (UR, C-K) の公式は, (C-K) の公式の両辺を (1/R) 倍すると得られる。ただし, 式  $\alpha=\theta-2\tau$ ,  $\bar{\alpha}=\theta+2\tau$  は (UR, C-K), (C-K) に共通する公式である。

## (6) (C-K) の計算例

$\theta=39^\circ 57' 20''$ ,  $\tau=9^\circ 59' 20'' (= \theta/4)$ ,  $L=50.0 \text{ m}$  を与えて (C-K) を求めよう。この計算例は, 計算例 (2, 5, 8, 7) と同じである。同じ計算例を用いて, この計算例を照査しよう。

[解]

イ)  $\theta=39^\circ 57' 20''$  を用いて, 単曲線表から  $\theta=0.697356$ ,  $\bar{\theta}=0.064028$ ,  $\bar{d}=0.363531$  が得られる。

ロ)  $\tau=9^\circ 59' 20''$  を用いて, 数表 2 の諸要素を求めると, 表 2.39 のようである。

表 2.39 内挿法の計算表

諸要素	$l$	$l^2$	$\tau$	$\Delta r/r$	$l \cdot xM$
(diff)	1000	1181	$2'01.8''$	35	589
①	0.590000	0.348100	$9^\circ 58' 20.4''$	0.005043	0.173874
$\Delta$	489	578	$59.6''$	17	288
① + $\Delta$	0.590489	0.348678	$9^\circ 59' 20.0''$	0.005060	0.174162

注)  $\alpha=59.6''/121.8''=0.489327$  である。

ハ) (UR, C-K) の諸要素を求めると, 次のようである。

$$g=\bar{g}(1+\Delta r/r)+\Delta r/r=0.064028 \times 1.005060+0.005060=0.069412$$

$$d=\bar{d}(1+\Delta r/r)+l \cdot xM=0.363531 \times 1.005060+0.174162=0.539532$$

$$lC=\theta-l^2=0.697356-0.348678=0.348678$$

$$Cl=\theta+l^2=0.697356+0.348678=1.046034$$

ニ) 式 (C-K)=R(UR, C-K) から (C-K) を求めると表 2.40 のようである。

## (7) (C-K) の計算例

$\theta=39^\circ 57' 20''$ ,  $\tau=9^\circ 58' 20'' (= \theta/4)$ ,  $L=50.0 \text{ m}$  を与えて, (C-K) を求めよう。

[解] 計算の結果を示すと, 表 2.41 のようである。

## 2.5.10 円-クロソイドの作図法

数表 1 または数表 2 を用いて, 求めた円-クロソイド (C-K) のパラメーター  $A$ , 曲率半径  $R$  は, 一般に, m 単位でまらめた値とならない。したがって, 市販されているクロソイド定規または単曲線定規を用いることはできない。コンパスと曲り定規を用いて (C-K) を作図する方法を示すと, 次のようである (図 2.10 参照)。

表 2.40 (C-K) の 計 算 表

諸要素	線形	(UR, C-K)	(C-K)
道路交角		$\theta = 39^\circ 57' 20'' (=0.697356)$	
接線角		$\tau = 9^\circ 59' 20''$	
外線長		$g = 0.069412$	$G = 9.954$
バ ラ メ ー タ ー		$l = 0.590489$	$A = 84.675$
曲率半径		$\bar{r} = 1.000000$	$R = 143.399$
接線長		$d = 0.539532$	$D = 77.368$
クロソイド長		$l^2 = 0.348678$	$L = 50.000$
単曲線長		$lC = 0.348678$	$LC = 50.000$
曲線長		$Cl = 1.046034$	$CL = 150.000$
移程量		$\Delta r/r = 0.005060$	$\Delta R = 0.726$
接線角/道路交角		0.250000	
単曲線長/クロソイド長		1.000000	

注)  $R = L/l^2 = 50.0/0.348678 = 143.398781$  である.

表 2.41 (UR, C-K), (C-K) の計算表

諸要素	線形	(UR, C-K)	(C-K)
道路交角		$\theta = 39^\circ 57' 20'' (=0.697356)$	
接線角		$\tau = 9^\circ 58' 20''$	
外線長		$g = 0.069394$	$G = 9.968$
バ ラ メ ー タ ー		$l = 0.590000$	$A = 84.746$
曲率半径		$\bar{r} = 1.000000$	$R = 143.637$
接線長		$d = 0.539238$	$D = 77.454$
クロソイド長		$l^2 = 0.348100$	$L = 50.000$
単曲線長		$lC = 0.349256$	$LC = 50.166$
曲線長		$Cl = 1.045456$	$CL = 150.166$
移程量		$\Delta r/r = 0.005043$	$\Delta R = 0.724$
接線角/道路交角		0.249586	
単曲線長/クロソイド長		1.003321	

注)  $R = L/l^2 = 50.0/0.348100 = 143.636886$  である.

- イ) 道路夾角の二等分線を描く.
- ロ) 道路夾角の二等分線上に, 2つの測線の交点から, 距離  $G$ ,  $G+R$  の点を  $P_1$ ,  $M$  とする.
- ハ) 点  $M$  から, 2つの測線に対して垂線を描く.
- ニ) 垂線上に測線からの距離  $\Delta R$  の点を  $P_2$ ,  $P_3$  とする.
- ホ) 点  $M$  を中心として半径  $R$  の円を描く. このとき半径  $R$  の円が  $P_2$ ,  $P_1$ ,  $P_3$  を通過することを照査する.
- ヘ) 2つの垂線の内側に, 分度器を用いて垂線と角度  $\tau$  となる直線を描く, そして, これらの直線と半径  $R$  の円の交点を  $KE$  とする.
- ト) 2つの測線の交点から測線上の距離  $D$  の点を  $KA$  とする.
- チ) 点  $KA$  から点  $KE$  にいたるクロソイドを曲り定規で描く, クロソイドは, おおよそ移程

量  $4R$  の中点をとる。

クロソイドの描き方は、一般に市販されているクロソイド定規を用いて練習するとよい。本書の図に示したクロソイドでは、その移程量を、接線角 $\tau$ の小さい場合、実際の値より大きく描いている。

## 2.6 非対称円クロソイド

2.5で、道路夾角の二等分線上に中心を持つ半径  $R$  の円が、道路交角  $\theta$  で交わる2つの測線との間に作る平面線形すなわち円クロソイド ( $C=K$ ) について述べた。ここでは、道路夾角の二等分線上に中心を持たない半径  $R$  の円が2つの測線との間に作る平面線形について述べよう。  
( $C=K$ ) とこの平面線形を総称して非対称円クロソイドと呼び、( $C=K$ ) で示す。

従来、道路の平面線形として用いている単曲線、円クロソイド、凸形クロソイド、非対称円クロソイド、非対称凸形クロソイドおよびクロソイドは共通の公式から求めることができる。これは、換言すると「非対称円クロソイド ( $C=K$ ) の公式にある条件をきめると、これらすべての平面線形の公式が得られる」となる。まず、( $C=K$ ) を分類し、そして、この条件と ( $C=K$ ) の性質および解法について述べよう。

### 2.6.1 分類

非対称円クロソイド ( $C=K$ ) は、( $C=K$ ) における曲線長に関する諸要素の性質と自由度を用いて、分類することができる。

#### (1) 曲線長に関する諸要素の記号と名称

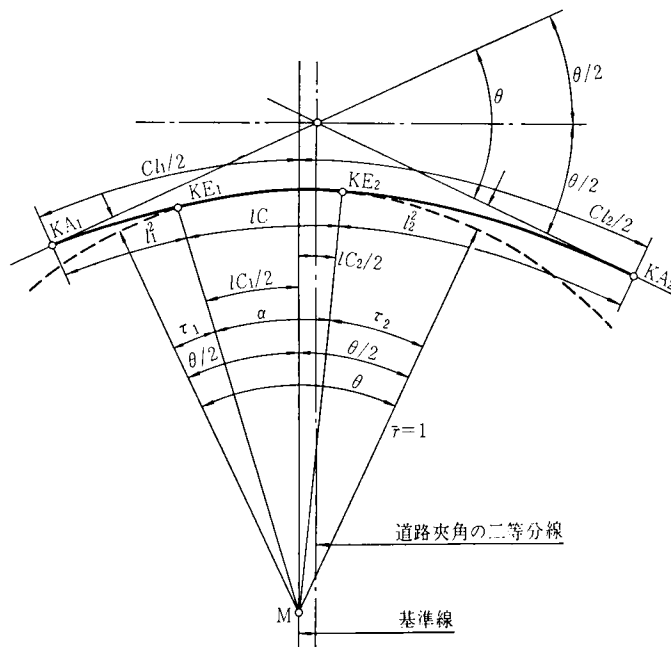


図2.17 (UR,  $C=K$ )

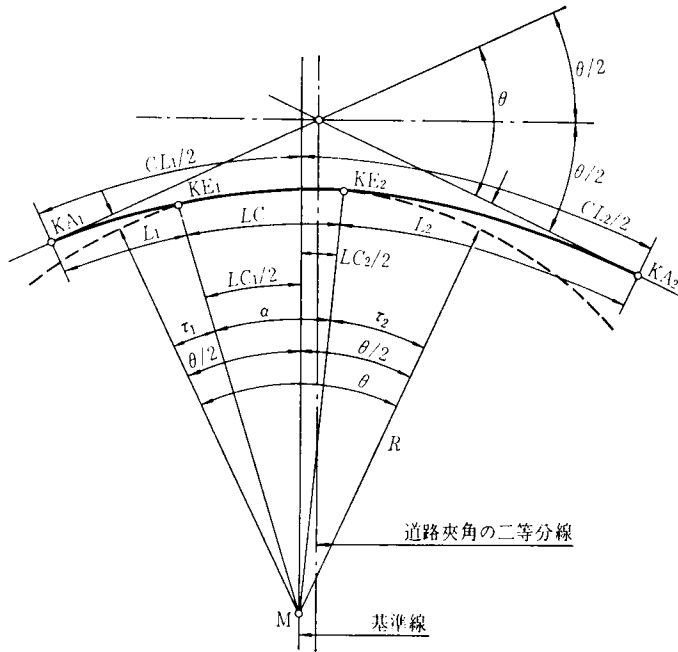
図2.18 ( $C=K$ )

表2.42 曲線長に関する諸要素

諸要素	分類	(UR, C=K)		(C=K)	
道路交角	イ	$\theta$			
接線角		$\tau_1$		$\tau_2$	
パラメーター	ロ	$l_1$	$l_2$	$A_1$	$A_2$
曲率半径		$\bar{r}=1$		$R$	
クロソイド長		$l_1^2$	$l_2^2$	$L_1$	$L_2$
単曲線長		$lC=(lC_1+lC_2)/2$		$LC=(LC_1+LC_2)/2$	
曲線長		$Cl=(Cl_1+Cl_2)/2$		$CL=(CL_1+CL_2)/2$	
接線角／道路交角	ハ	$\tau_1/\theta=k_1$		$\tau_2/\theta=k_2$	
曲線長の比		$l_1^2: lC: l_2^2=L_1: LC: L_2=1: a: b$			

$(UR, C=K)$ ,  $(C=K)$  における曲線長に関する諸要素の記号を図2.17, 2.18 のようにきめる。名称は、表2.42 のようである。これらの諸要素について述べよう。

a)  $(UR, C=K)$

単位円の中心Mをとおり、道路夾角の二等分線に平行な直線を基準線と呼ぶ。 $(UR, C=K)$  における基準線の左側は、 $(UR, C=K)_1$  を道路夾角の二等分線で2つに分割した左側と合同である。そして、基準線の右側は、 $(UR, C=K)_2$  を道路夾角の二等分線で2つに分割した右側と合同である。したがって、 $(UR, C=K)$  の諸要素は、次のようになる。

イ) 接線角, パラメーター, クロソイド長: 単位円が左側の測線との間に作る単位クロソイド  $(UR, \bar{K})_1$  の接線角, パラメーター, クロソイド長は、それぞれ、 $\tau_1$ ,  $l_1$ ,  $l_1^2$  である。そし

て、右側の測線との間に作る  $(UR, \bar{K})_2$  の諸要素は  $\tau_2, l_2, l_2^2$  である。

ロ) 単曲線長:  $(UR, C=K)$  の単曲線長を  $IC$  で示す。  $IC$  は、式  $IC=(IC_1+IC_2)/2=(\alpha_1+\alpha_2)/2=\alpha=\theta-(\tau_1+\tau_2)$  から得られる。ただし、 $\alpha_1=\theta-2\tau_1$ 、 $\alpha_2=\theta-2\tau_2$  である。

ハ) 曲線長:  $(UR, C=K)$  の曲線長を  $Cl$  で示す。  $Cl$  は、式  $Cl=(Cl_1+Cl_2)/2=l_1^2+IC+l_2^2=(\bar{\alpha}_1+\bar{\alpha}_2)/2=\bar{\alpha}=\theta+(\tau_1+\tau_2)$  から得られる。ただし、 $\bar{\alpha}_1=\theta+2\tau_1$ 、 $\bar{\alpha}_2=\theta+2\tau_2$  である。

b)  $(C=K)$

半径  $R$  の円の中心  $M$  をとおり、道路夾角の二等分線に平行な直線を基準線と呼ぶ。  $(C=K)$  における基準線の左側は、  $(C-K)_1$  を道路夾角の二等分線で2つに分割した左側と合同である。そして、基準線の右側は、  $(C-K)_2$  を道路夾角の二等分線で2つに分割した右側と合同である。したがって、  $(C=K)$  の諸要素は、次のようになる。

イ) 接線角, パラメーター, クロソイド長: 半径  $R$  の円が左側の測線との間に作るクロソイド  $(\bar{K})_1$  の接線角, パラメーター, クロソイド長は、それぞれ、 $\tau_1, A_1, L_1$  である。そして、右側の測線との間に作る  $(\bar{K})_2$  の諸要素は  $\tau_2, A_2, L_2$  である。

ロ) 単曲線長:  $(C=K)$  の単曲線長を  $LC$  で示す。  $LC$  は、式  $LC=(LC_1+LC_2)/2$  から得られる。

ハ) 曲線長:  $(C=K)$  の曲線長を  $CL$  で示す。  $CL$  は、式  $CL=(CL_1+CL_2)/2=L_1+LC$

表2.43 変数  $\theta, \tau_1, \tau_2, k_1, k_2, m, n, a, b$  と曲線長の比

変数 \ 比	$(C=K)$		$LC_1/2R \cdot \theta$	$LC_2/2R \cdot \theta$	$LC/R \cdot \theta$
	$(UR, C=K)$		$IC_1/2\theta$	$IC_2/2\theta$	$IC/\theta$
$\theta, \tau_1, \tau_2$	$\tau_1/\theta$	$\tau_2/\theta$	$\alpha_1/2\theta$	$\alpha_2/2\theta$	$\alpha/\theta$
$k_1, k_2$	$k_1$	$k_2$	$0.5-k_1$	$0.5-k_2$	$1-\bar{k}$
$m, n$	$(1/m)-(1/n)$	$(1/m)+(1/n)$	$0.5-\{(n-m)/mn\}$	$0.5-\{(n+m)/mn\}$	$(m-2)/m$
$a, b$	$1/B$	$b/B$	$(2a+b-1)/2B$	$(2a-b+1)/2B$	$2a/B$
変数 \ 比	$CL_1/2R \cdot \theta$	$CL_2/2R \cdot \theta$	$CL/R \cdot \theta$	$L_1/R \cdot \theta$	$L_2/R \cdot \theta$
	$Cl_1/2\theta$	$Cl_2/2\theta$	$Cl/\theta$	$l_1^2/\theta$	$l_2^2/\theta$
$\theta, \tau_1, \tau_2$	$\bar{\alpha}_1/2\theta$	$\bar{\alpha}_2/2\theta$	$\bar{\alpha}/\theta$	$2\tau_1/\theta$	$2\tau_2/\theta$
$k_1, k_2$	$0.5+k_1$	$0.5+k_2$	$1+\bar{k}$	$2k_1$	$2k_2$
$m, n$	$0.5+\{(n-m)/mn\}$	$0.5+\{(n+m)/mn\}$	$(m+2)/m$	$(2/m)-(2/n)$	$(2/m)+(2/n)$
$a, b$	$(2a+b+3)/2B$	$(2a+3b+1)/2B$	$2(a+b+1)/B$	$2/B$	$2b/B$
変数 \ 比	$CL/LC$	$(L_1+L_2)/2LC$	$L_1$	$LC$	$L_2$
	$Cl/IC$	$(l_1^2+l_2^2)/2IC$	$l_1^2$	$IC$	$l_2^2$
$\theta, \tau_1, \tau_2$	$\bar{\alpha}/\alpha$	$(\tau_1+\tau_2)/\alpha$	$2\tau_1$	$\alpha$	$2\tau_2$
$k_1, k_2$	$(1+\bar{k})/(1-\bar{k})$	$\bar{k}/(1-\bar{k})$	$k_1$	$(1-\bar{k})/2$	$k_2$
$m, n$	$(m+2)/(m-2)$	$2/(m-2)$	$2(n-m)$	$n(m-2)$	$2(n+m)$
$a, b$	$(a+b+1)/a$	$(b+1)/2a$	1	$a$	$b$

注1)  $\bar{k}=k_1+k_2$ , そして、 $B=(2a+b+1)$  である。

2) 記号は、表 2.49, 2.50 を参照されたい。

3)  $\tau_1=\tau_2=\tau$  とおくと、表 2.24 が得られる。

$+L_2$  から得られる。

## (2) 曲線長の比

( $UR, C=K$ ), ( $C=K$ ) における曲線長に関する諸要素の比は、表 2.43 のようである。これについて述べよう。

イ)  $\theta, \tau_1, \tau_2$ ; 曲線長の比は,  $\theta, \tau_1, \tau_2$  の関数である。

ロ)  $k_1, k_2$ ;  $\tau_1/\theta=k_1, \tau_2/\theta=k_2$  とおくと, 曲線長の比は,  $k_1, k_2$  の関数となる。

ハ)  $m, n$ ;  $\tau_1/\theta=(1/m)-(1/n), \tau_2/\theta=(1/m)+(1/n)$  とおくと, 曲線長の比は,  $m, n$  の関数となる。

ニ)  $a, b$ ;  $l_1^2: lC: l_2^2=L_1: LC: L_2=1: a: b$  とおくと, 曲線長の比は,  $a, b$  の関数となる。

## (3) $\tau_1/\theta, \tau_2/\theta$ 平面

$\tau_1 \leq \tau_2$  とすると,  $0 \leq \tau_1/\theta + \tau_2/\theta \leq 1$  であるから,  $\tau_1/\theta, \tau_2/\theta$  の変域は,  $\tau_1/\theta, \tau_2/\theta$  平面における二等辺三角形 ABC である (図 2.19 参照)。ただし, 点 A, B, C の座標は, それぞれ,  $(0, 0), (1/2, 1/2), (0, 1)$  である。 $\tau_1/\theta, \tau_2/\theta$  平面における直線  $\tau_1/\theta=0, 1/8, 1/4, 3/8, 1/2$  と直線  $\tau_2/\theta=0, 1/8, 1/4, 3/8, 1/2, 5/8, 3/4, 7/8, 1$  の交点のうち, 図 2.19 に示す 15 の点に対応する半径  $R$  の ( $C=K$ ) を示すと, 図 2.20 のようである。図 2.19 と図 2.20 について述べよう。

イ) 図 2.20 における左下がりの斜線は, 半径  $R$  の円と  $\tau_1$  が作る扇形を, そして, 右下がりの斜線は,  $\tau_2$  が作る扇形をそれぞれ示す。

ロ) 図 2.19 に示した 15 の点における変数  $m, n, k_1, k_2$  と 15 の点に対応する ( $UR, C=K$ ), ( $C=K$ ) の曲線長の比を示すと, 表 2.44 のようである。

ハ)  $\tau_1/\theta, \tau_2/\theta$  平面における直線  $2/m=k_1+k_2=C$  上の点に対応する ( $UR, C=K$ ), ( $C=K$ ) の単曲線長は, それぞれ等しい。( $UR, C=K$ ) では,  $lC=\theta(m-2)/m=\theta[1-(k_1+k_2)]$ , ( $C=K$ ) では,  $LC=R\theta(m-2)/m=R\theta[1-(k_1+k_2)]$  である。

ニ)  $\tau_1/\theta, \tau_2/\theta$  平面における直線,  $2/m=k_1+k_2=C$  上の点に対応する ( $UR, C=K$ ), ( $C=$

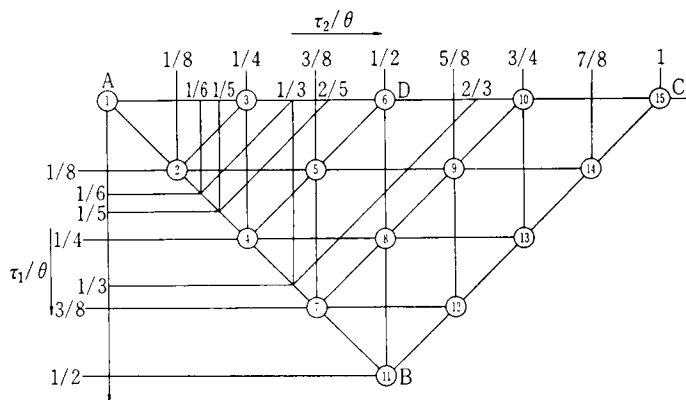


図2.19  $\tau_1/\theta, \tau_2/\theta$  平面

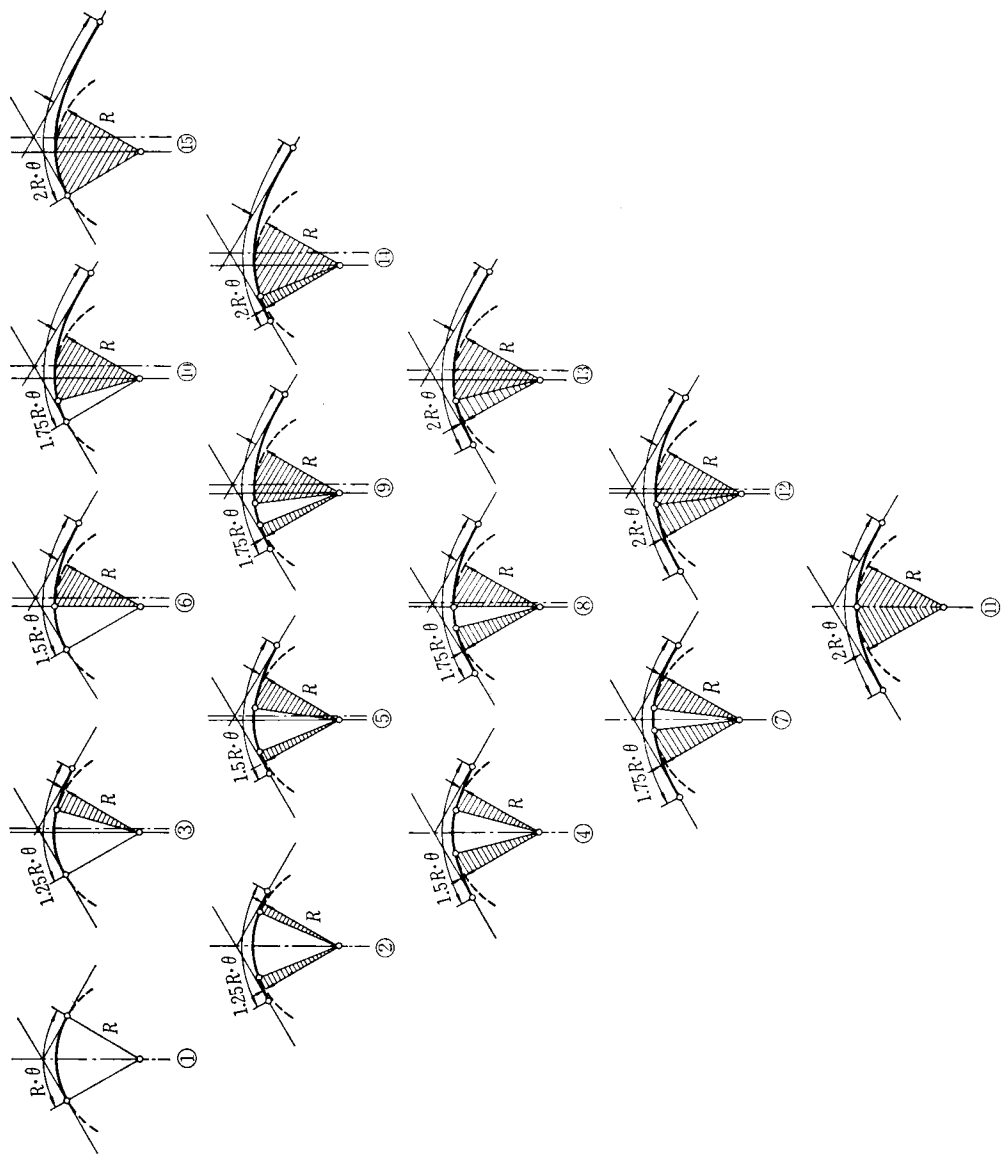


図 2.20 15の点に対応する ( $C=K$ )



表2.44 変数  $m, n$  と曲線長の比

変数	比		$k_1$	$k_2$	$LC_1/2R \cdot \theta$	$LC_2/2R \cdot \theta$	$LC/R \cdot \theta$	$CL_1/2R \cdot \theta$	$CL_2/2R \cdot \theta$	$CL/R \cdot \theta$	$L_1/R \cdot \theta$	$L_2/R \cdot \theta$	$L_1^2/\theta$	$L_2^2/\theta$	$CL/LC$	$\bar{L}_1/2LC$	$L_1:LC:L_2$		番号	自由度	平面線形の記号
	$m$	$n$	$\tau_1/\theta$	$\tau_2/\theta$	$LC_1/2\theta$	$LC_2/2\theta$	$LC/\theta$	$CL_1/2\theta$	$CL_2/2\theta$	$CL/\theta$	$L_1^2/\theta$	$L_2^2/\theta$	$L_1^2/\theta$	$L_2^2/\theta$	$CL/LC$	$\bar{L}_1/2LC$	$L_1^2:LC:L_2^2$	$L_1^2:LC:L_2^2$			
$\infty$	$\infty$	$\infty$	0	0	0.500	0.500	1.0	0.500	0.500	1.00	0	0	0	0	1.0	0			①	2	(C)
8	8	$\infty$	0.125	0.125	0.375	0.375	0.75	0.625	0.625	1.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1.6	0.3	1:3:1	1:3:1	②	3	(C-K)
8	8	8	0	0.250	0.500	0.500	0.75	0.500	0.750	1.25	0	0	0	0.50	1.6	0.3	1:0.6	1:0.6	③	3	(C-K)
4	4	$\infty$	0.250	0.250	0.250	0.250	0.50	0.750	0.750	1.50	0.50	0.50	0.50	0.50	3.0	1.0	1:1:1	1:1:1	④	3	(C-K)
4	4	8	0.125	0.375	0.375	0.375	0.50	0.625	0.875	1.50	0.25	0.75	0.25	0.75	3.0	1.0	1:2:3	1:2:3	⑤	4	(C=K)
4	4	4	0	0.500	0.500	0.500	0.50	0.500	1.000	1.50	0	1.00	0	1.00	3.0	1.0	1:2	1:2	⑥	3	(C-K)
2.6	2.6	$\infty$	0.375	0.375	0.125	0.125	0.25	0.875	0.875	1.75	0.75	0.75	0.75	0.75	7.0	3.0	1:0.3:1	1:0.3:1	⑦	3	(C-K)
2.6	2.6	8	0.250	0.500	0.250	0.250	0.25	0.750	1.000	1.75	0.50	1.00	0.50	1.00	7.0	3.0	1:0.5:2	1:0.5:2	⑧	4	(C=K)
2.6	2.6	4	0.125	0.625	0.375	0.375	0.25	0.625	1.125	1.75	0.25	1.25	0.25	1.25	7.0	3.0	1:1:5	1:1:5	⑨	4	(C=K)
2.6	2.6	2.6	0	0.750	0.500	0.500	0.25	0.500	1.250	1.75	0	1.50	0	1.50	7.0	3.0	1:6	1:6	⑩	3	(C-K)
2	2	$\infty$	0.500	0.500	0	0	0	1.000	1.000	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	$\infty$	$\infty$			⑪	2	(K)
2	2	8	0.375	0.625	0.125	0.125	0	0.875	1.125	2.00	0.75	1.25	0.75	1.25	$\infty$	$\infty$	1:1.6	1:1.6	⑫	3	(K-K)
2	2	4	0.250	0.750	0.250	0.250	0	0.750	1.250	2.00	0.50	1.50	0.50	1.50	$\infty$	$\infty$	1:3	1:3	⑬	3	(K-K)
2	2	2.6	0.125	0.875	0.375	0.375	0	0.625	1.375	2.00	0.25	1.75	0.25	1.75	$\infty$	$\infty$	1:7	1:7	⑭	3	(K-K)
2	2	2	0	1.000	0.500	0.500	0	0.500	1.500	2.00	0	2.00	0	2.00	$\infty$	$\infty$			⑮	2	(K)

注1) (K-K)の欄は、 $L_1:L_2$ の比を、そして、(C-K)の欄は、 $LC:L_2$ の比を示す。

2) ・印は循環小数であることを示す。そして、( )内の数字の符号は一である。

3) 番号は、図2.20を参照されたい。

4)  $\bar{L} = L_1 + L_2$ ,  $\bar{L}^2 = L_1^2 + L_2^2$  である。

$K$  の曲線長はそれぞれ等しい.  $(UR, C=K)$  では,  $Cl=\theta(m+2)/m=\theta[1+(k_1+k_2)]$ ,  $(C=K)$  では,  $CL=R\theta(m+2)/m=R\theta[1+(k_1+k_2)]$  である. ここに,  $C$  の変域は,  $0 \leq C \leq 1$  である.

ホ) 表 2.43 において,  $m=4$  とおくと, 式  $a-1=b-a$  が成立する. したがって,  $(UR, C=K)$  では, 式  $Cl=3LC$ ,  $LC=(l_1^2+l_2^2)/2$ ,  $l_1^2=LC_2$ ,  $l_2^2=LC_1$  が, そして,  $(C=K)$  では, 式  $CL=3LC$ ,  $LC=(L_1+L_2)/2$ ,  $L_1=LC_2$ ,  $L_2=LC_1$  が成立する.  $m=4$  における変数  $n$  と曲線長の比の計算例を示すと, 表 2.45 のようである.

表 2.45  $m=4$  における変数  $n$  と曲線長の比

変数 比	$\tau_1/\theta$	$\tau_2/\theta$	$L_1:LC:L_2$	番 号	摘 要
			$l_1^2:LC:l_2^2$		
$n$	$(1/4)-(1/n)$	$(1/4)+(1/n)$	$(n-4):n:(n+4)$		一 般 式
4	0	1/2		⑥	$(C-\bar{K})$
8	1/8	3/8	1.0 : 2.0 : 3.0	⑤	$(C=K)$
12	1/6	2/6	1.0 : 1.5 : 2.0		"
14	5/28	9/28	1.0 : 1.4 : 1.8		"
24	5/24	7/24	1.0 : 1.2 : 1.4		"
29	25/116	33/116	1.0 : 1.16 : 1.32		"
36	4/18	5/18	1.0 : 1.125 : 1.25		"
44	5/22	6/22	1.0 : 1.1 : 1.2		"
54	25/108	29/108	1.0 : 1.08 : 1.16		"
84	10/42	11/42	1.0 : 1.05 : 1.1		"
$\infty$	1/4	1/4	1.0 : 1.0 : 1.0	④	$(C-K)$

へ) 数表 1 は,  $\tau_1/\theta$ ,  $\tau_2/\theta$  平面上の 6 つの点  $(0, 0)$ ,  $(1/6, 1/6)$ ,  $(1/5, 1/5)$ ,  $(1/4, 1/4)$ ,  $(1/3, 1/3)$ ,  $(1/2, 1/2)$  に対応する  $(UR, C-K)$  を示す.

#### (4) $(C=K)$ の分類

半径  $R$  の円が道路交角  $\theta$  で交わる 2 つの測線との間に作る平面線形すなわち, 自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡は, すべて図 2.19 に示した三角形 ABC 上の点に対応している. そして, 三角形 ABC 上の点に対応しない平面線形は存在しない. 非対称円クロソイド  $(C=K)$  は三角形 ABC と自由度を用いて 7 種類に分類することができる (表 2.46.1

表 2.46.1  $(C=K)$  の 分 類 (その 1)

記 号	名 称	自 由 度		対 応 す る 三 角 形 の 部 分	
		狭 義	広 義	狭 義	広 義
$(C)$	単 曲 線	2		点 A	
$(K)$	凸 形 ク ロ ソ イ ド	2		点 B	
$(\bar{K})$	ク ロ ソ イ ド	2		点 C	
$(C-K)$	円-ク ロ ソ イ ド	3	2, 3	点 A, B を除く辺 AB	辺 AB
$(K-\bar{K})$	非対称凸形クロソイド	3	2, 3	点 B, C を除く辺 BC	辺 BC
$(C-\bar{K})$	単-ク ロ ソ イ ド	3	2, 3	点 A, C を除く辺 AC	辺 AC
$(C=K)$	非対称円クロソイド	4	2, 3, 4	三 角 形 の 内 部	三 角 形

注) 数字は平面線形の自由度  $N$  を示す. なお, 単位平面線形の自由度は  $N-1$  である.

参照). 図 2.19 と表 2.46.1 について述べよう.

- イ) 三角形の頂点  $A, B, C$  に対応する  $(C=K)$  の自由度は, 2 である. そして, 点  $A, B, C$  では, それぞれ式  $(C=K)=(C)$ ,  $(C=K)=(K)$ ,  $(C=K)=(\bar{K})$  が成立する.
- ロ) 三角形の頂点を除く 3 つの辺上の点に対応する  $(C=K)$  の自由度は 3 である. 辺  $AB, BC, AC$  では, それぞれ, 式  $(C=K)=(C-K)$ ,  $(C=K)=(K-\bar{K})$ ,  $(C=K)=(C-\bar{K})$  が成立する. ここに, 非対称凸形クロソイドを  $(K-\bar{K})$  で示す. そして, 辺  $AC$  に対応する平面線形を単一クロソイドと呼び,  $(C-\bar{K})$  で示す.
- ハ) 三角形の内部の点に対応する  $(C=K)$  の自由度は 4 である. この  $(C=K)$  を狭義の  $(C=K)$  と呼ぶ.
- ニ) 三角形上の点に対応する  $(C=K)$  の自由度は 2, 3 または 4 である. この  $(C=K)$  を広義の  $(C=K)$  と呼ぶ.
- ホ) 表 2.46.1 に示した平面線形の記号または名称は狭義の意味で用いるときと広義の意味で用いるときがある.
- ヘ) 半径  $R$  の円が道路交角  $\theta$  で交わる 2 つの測線との間に作る平面線形のうち, 自由度 3 と 4 の平面線形を複合曲線と呼ぶ.
- ト)  $(C=K)$  の単位平面線形 ( $UR, C=K$ ) は,  $(C=K)$  と同じ方法を用いて分類することができる.

表 2.46.2  $(C=K)$  の分類 (その 2)

記 号	名 称	自 由 度		対応する三角柱の部分	
		狭 義	広 義	狭 義	広 義
$(C)$	単 曲 線	2		直 線 1	
$(\bar{K})$	凸 形 ク ロ ソ イ ド	2		直 線 3	
$(K)$	ク ロ ソ イ ド	2		直 線 2.4	
$(C-K)$	円 - ク ロ ソ イ ド	3	2.3	直線 1.3 を除く面 4	面 4
$(K-\bar{K})$	非対称凸形クロソイド	3	2.3	直線 2.3.4 を除く側面 2	側面 2
$(C-\bar{K})$	単 - ク ロ ソ イ ド	3	2.3	直線 1.2.4 を除く側面 1.3	側面 1.3
$(C=K)$	非対称円一クロソイド	4	2.3.4	面 4 を除く三角柱の内部	三角柱

注) 自由度の欄の数字は, 平面線形の自由度  $N$  を示す. なお, 単位平面線形の自由度は  $N-1$  である.

(5) ( $C=K$ ) の分類, 自動車の走行

## 軌跡と数表

半径  $R$  の円が道路交角  $\theta$  で交わる 2 つの測線との間に作る平面線形, すなわち, 自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡は, 図 2.21 に示した三角柱  $OD''C''A'D'$   $C'$  上の点に対応している. そして, 三角柱上の点に対応しない平面線形は存在しない. 非対称円ークロソイド ( $C=K$ ) は三角柱と自由度を用いて 7 種類に分類することができる (表 2.46.2 参照). 図 2.21 と表 2.46.2 について述べよう.

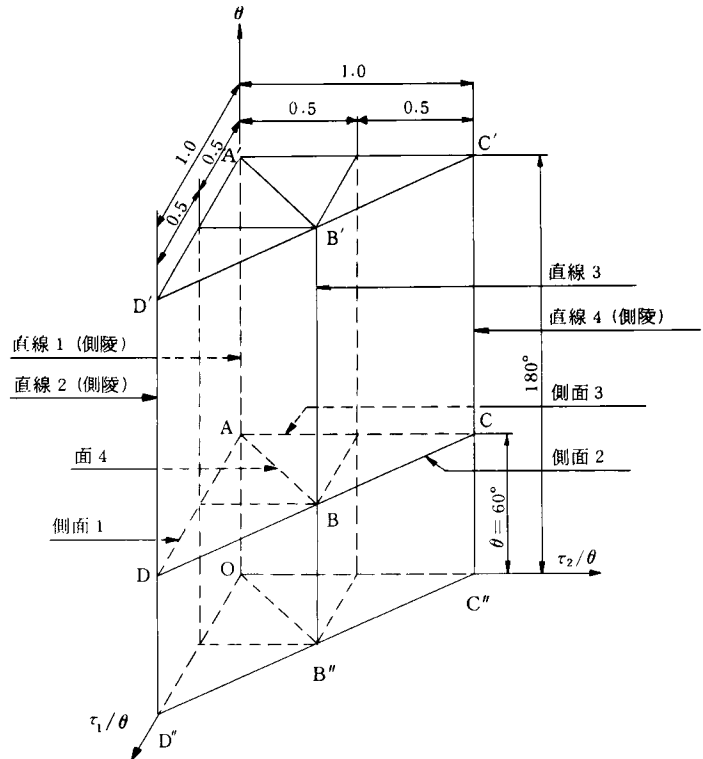


図 2.21  $\theta, k_1 (= \tau_1/\theta), k_2 (= \tau_2/\theta)$  空間の二等辺直角三角柱

イ) 三角柱の側稜 (直線 1. 2. 4) と直線 3 に対応する ( $C=K$ ) の自由度は, 2 である. そして, 直線 1. 2. 3. 4. では, それぞれ式

$(C=K) = (C)$ ,  $(C=K) = (\bar{K})$ ,  $(C=K) = (K)$ ,  $(C=K) = (\bar{K})$  が成立する.

ロ) 三角柱の側稜 (直線 1. 2. 4) と直線 3 を除く三角柱の 3 つの側面および面 4 に対応する ( $C=K$ ) の自由度 3 である. 側面 1. 2. 3 と面 4 では, それぞれ式  $(C=K) = (C - \bar{K})$ ,  $(C=K) = (K - \bar{K})$ ,  $(C=K) = (C - K)$ ,  $(C=K) = (C - K)$  が成立する.

ハ) 面 4 を除く三角柱の内部に対応する ( $C=K$ ) の自由度は 4 である. この ( $C=K$ ) は狭義の ( $C=K$ ) である.

ニ) 三角柱上の点に対応する ( $C=K$ ) の自由度は 2, 3 または 4 である. この ( $C=K$ ) は広義の ( $C=K$ ) である.

ホ) 一般に, 単位平面線形 ( $UX_n, C=K$ ) と三角柱上の点とは 1 対 1 で対応する. すなわち,  $(UX_n, C=K)$  がきまると三角柱上の点がきまる. また, 三角柱上の点がきまると  $(UX_n, C=K)$  がきまる. ちなみに文献を参照しながら, 文献に示されている ( $C=K$ ) が対応する三角柱上の点  $(\theta, k_1, k_2)$  を示そう. なお, 紙面に向って左側の接線角を  $\tau_1$ , 右側を  $\tau_2$  とする. 番号は参考文献の番号を示す.

i) 1) の p. 2 の ( $C$ ) は, 点  $(35^\circ 42' 40'', 0, 0)$  に対応する.

ii) 2) の p. 5 の ( $C=K$ ) は, 点  $(85^\circ 19' 36'', 0.335678, 0.295029)$  に対応する.

iii) 2) の p. 63 の ( $C-K$ ) は, 点  $(30^\circ, 0.238732, 0.238732)$  に対応する.

iv) 2) の p. 69 の ( $K$ ) は, 点  $(18^\circ 20' 05'', 0.5, 0.5)$  に対応する.

以上に示した三角柱上の点  $(\theta, k_1, k_2)$  を 2.6.3.4 に示した電子計算機の公式に代入すると、 $(UR, C=K)$  の諸要素が、そして、 $(UR, C=K)$  の諸要素を  $R$  倍すると、 $(C=K)$  の諸要素が得られる。

へ) 単曲線表は、三角柱の側陵直線 1 に対応する単位平面線形  $(UR, C)$  の諸要素を示している。

ト) 単位クロソイド表は、三角柱の側陵直線 4 に対応する単位平面線形  $(UA, \bar{K})$  の諸要素を示している。

ここに、直線  $OA'$  を直線 1、直線  $D''D'$  を直線 2、直線  $B''B'$  を直線 3、直線  $C''C'$  を直線 4、面  $OD''D'A'$  を側面 1、面  $D''C''C'D'$  を側面 2、面  $OC''C'A'$  を側面 3、面  $OB''B'A'$  を面 4 としている。

### 2.6.2 狭義の $(C=K)$

狭義の  $(C=K)$ 、すなわち、自由度 4 の  $(C=K)$  について述べよう。 $(UR, C=K)$ 、 $(C=K)$  における諸要素の記号を図 2.22、2.23 のようにきめる。名称は、表 2.47、2.48 に示すようである。まず、これらの諸要素について述べよう。なお、 $(UR, C=K)$  の諸要素  $lC_1/2, lC_2/2, Cl_1/2, Cl_2/2$  および  $(C=K)$  の諸要素  $LC_1/2, lC_2/2, CL_1/2, CL_2/2$  は、それぞれ、図 2.17、2.18 を参照されたい。

#### (1) $(UR, C=K)$ の諸要素

$(UR, C=K)$  の諸要素は、次の 3 つに分類することができる。

イ)  $(UR, C=K)_1$ 、 $(UR, C=K)_2$  の諸要素。

ロ)  $(UR, C=K)_1$ 、または  $(UR, C=K)_2$  の諸要素を  $1/2$  倍して得られる諸要素。

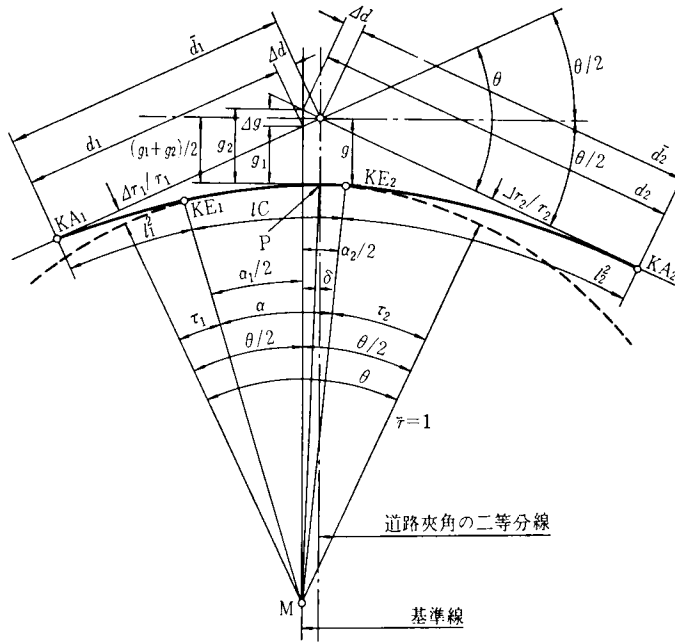


図2.22 ( $UR, C=K$ )

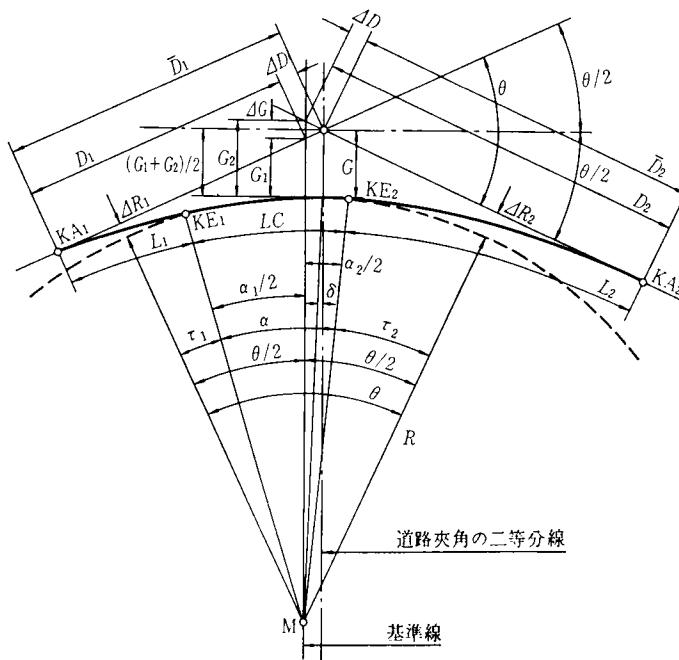


図2.23 ( $C=K$ )

表2.47 (UR, C=K), (C=K) の諸要素

線形 諸要素	分類	単位平面線形				平面線形			
		$(UR, C-K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(UR, C=K)$	$(C-K)_1$	$(C-K)_2$	$(C=K)$		
道路交角	イ	$\theta$							
接線角, 回転角		$\tau_1$		$\tau_2$		$\delta$			
外線長	ロ	$g_1$	$g_2$	$\Delta g$	$g$	$G_1$	$G_2$	$\Delta G$	$G$
パラメーター, 外線角		$l_1$	$l_2$	$(g_1+g_2)/2$		$A_1$	$A_2$	$(G_1+G_2)/2$	
曲率半径, 接線長		$\bar{r}=1$		$\Delta d$		$R$		$\Delta D$	
接線長		$d_1$	$d_2$	$\bar{d}_1$	$\bar{d}_2$	$D_1$	$D_2$	$\bar{D}_1$	$\bar{D}_2$
クロソイド長		$l_1^2$	$l_2^2$	$l_1^2+l_2^2$		$L_1$	$L_2$	$L_1+L_2$	
単曲線長		$lC_1$	$lC_2$	$lC$		$LC_1$	$LC_2$	$LC$	
曲線長		$Cl_1$	$Cl_2$	$Cl$		$CL_1$	$CL_2$	$CL$	
移程量		$\Delta r_1/r_1$	$\Delta r_2/r_2$			$\Delta R_1$	$\Delta R_2$		
接線角/道路交角	ハ	$\tau_1/\theta$		$\tau_2/\theta$		$\tau_1/\theta+\tau_2/\theta$			
曲線長の比		$l_1^2: lC: l_2^2=L_1: LC: L_2=1: a: b$							

表2.48 (UR, C=K), (C=K) に特有の諸要素

線形 諸要素	分類	単位平面線形	平面線形
		(UR, C=K)	(C=K)
回転角	イ	$\delta = \sin^{-1}\{\Delta d \cos(\theta/2)\}$	$\delta = \sin^{-1}\{\Delta D \cos(\theta/2)/R\}$
外線長	ロ	$g = (g_1+g_2)/2 + (1-\cos\delta)$	$G = (G_1+G_2)/2 + R(1-\cos\delta)$
"		$\Delta g = g_2 - g_1$	$\Delta G = G_2 - G_1$
接線長		$\bar{d}_1 = d_1 + \Delta d, \bar{d}_2 = d_2 - \Delta d$	$\bar{D}_1 = D_1 + \Delta D, \bar{D}_2 = D_2 - \Delta D$
"		$\Delta d = \Delta g/2 \sin(\theta/2)$	$\Delta D = \Delta G/2 \sin(\theta/2)$
単曲線長		$lC = (lC_1 + lC_2)/2$	$LC = (LC_1 + LC_2)/2$
曲線長		$Cl = (Cl_1 + Cl_2)/2$	$CL = (CL_1 + CL_2)/2$

ハ) (UR, C=K) に特有の諸要素.

(UR, C-K)<sub>1</sub>, (UR, C-K)<sub>2</sub> の諸要素は, (UR, C=K) の諸要素に, それぞれ添字 1, 2 を付記すると得られる. ただし,  $0.5 < \tau_2/\theta \leq 1$  では,  $lC_2$ ,  $\alpha_2 (= \theta - 2\tau_2)$  の符号は - である. したがって, ここではロ), ハ) について述べよう.

a) (UR, C-K)<sub>1</sub> または,

(UR, C-K)<sub>2</sub> の諸要素を

1/2 倍して得られる諸要素

単位平面線形 (UR, C-K)<sub>1</sub>

における  $\tau_1$  の変域は,  $0 \leq \tau_1 \leq \theta/2$

である. しかし, (UR, C-K)<sub>2</sub>

における  $\tau_2$  の変域は,  $0 \leq \tau_2 \leq \theta$

である. したがって, (UR, C=K)

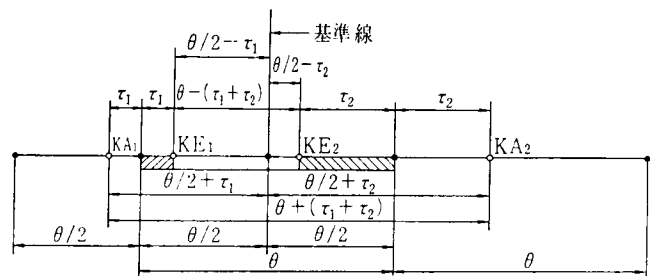


図2.24 基準線と曲線長 ( $0 \leq \tau_2/\theta < 0.5$  の場合)

の単曲線長  $IC = (IC_1 + IC_2)/2$   
 および曲線長  $Cl = (Cl_1 + Cl_2)/2$   
 は、単位平面線形 ( $UR, C-K$ )  
 の  $IC, Cl$  から直ちに理解できな  
 いと思われる。基準線を用いて、  
 これらの諸要素について述べよう  
 (図2.17, 2.18, 2.19, 2.20, 2.21,

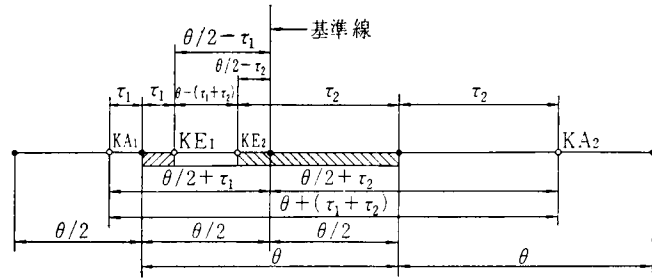


図2.25 基準線と曲線長 ( $0.5 < \tau_2/\theta \leq 1$  の場合)

2.22, 2.23, 2.24, 2.25 参照)。

イ)  $IC_1/2, IC_2/2$

式  $IC_1/2 = \alpha_1/2 = \theta/2 - \tau_1 = (\theta - l_1^2)/2$  で示される  $IC_1/2$  は、基準線と直線  $M, KE_1$  に挟まれた単位円の曲線長、すなわち、単位円と基準線の交点から単位円上を点  $KE_1$  にいたる距離である。 $0 \leq l_1^2 \leq \theta$  であるから、 $IC_1/2$  の変域は、 $0 \leq IC_1/2 \leq \theta/2$  である。また、式  $IC_2/2 = \alpha_2/2 = \theta/2 - \tau_2 = (\theta - l_2^2)/2$  で示される  $IC_2/2$  は、基準線と直線  $M, KE_2$  に挟まれた単位円の曲線長、すなわち、単位円と基準線の交点から単位円上を点  $KE_2$  にいたる距離である。 $0 \leq l_2^2 \leq 2\theta$  であるから、 $IC_2/2$  の変域は、 $-\theta/2 \leq IC_2/2 \leq \theta/2$  である。 $IC_2/2$  の符号は、点  $KE_2$  が基準線の右側にある場合 ( $0 \leq \tau_2/\theta < 0.5$ ) は+、左側にある場合 ( $0.5 < \tau_2/\theta \leq 1$ ) は-である。したがって、( $UR, K-\bar{K}$ ) では、 $IC = (IC_1 + IC_2)/2 = 0$  となる。

ロ)  $Cl_1/2, Cl_2/2$

式  $Cl_1/2 = \bar{\alpha}_1/2 = \theta/2 + \tau_1 = (\theta + l_1^2)/2$  で示される  $Cl_1/2$  は、基準線と単位平面線形 ( $UR, C=K$ ) の交点から ( $UR, C=K$ ) 上を点  $KA_1$  にいたる距離である。そして、式  $Cl_2/2 = \bar{\alpha}_2/2 = \theta/2 + \tau_2 = (\theta + l_2^2)/2$  で示される  $Cl_2/2$  は、基準線と ( $UR, C=K$ ) の交点から ( $UR, C=K$ ) 上を点  $KA_2$  にいたる距離である。ただし、 $0.5 < \tau_2/\theta \leq 1$  では、点  $KE_2$  から単位円上を基準線にいたる距離は、点  $KE_2$  から ( $UR, C=K$ ) 上を基準線にいたる距離に等しいと仮定しなければならない。しかし、これらの距離は、近似的に等しいとしてよい。

ハ)  $IC, Cl$

単曲線長  $IC$ 、曲線長  $Cl$  は、それぞれ、式  $IC = \theta - (l_1^2 + l_2^2)/2$ 、 $Cl = \theta + (l_1^2 + l_2^2)/2$  から得られる。しかし、イ)、ロ) で述べたように  $IC_1/2 = R \cdot IC_1/2$ 、 $IC_2/2 = R \cdot IC_2/2$ 、 $Cl_1/2 = R \cdot Cl_1/2$ 、 $Cl_2/2 = R \cdot Cl_2/2$  は、( $C=K$ ) を現地に設置するときに必要な要素である。したがって、 $IC, Cl$  は、それぞれ、式  $IC = (IC_1 + IC_2)/2$ 、 $Cl = (Cl_1 + Cl_2)/2$  から求め、さらに、式  $IC = \theta - (l_1^2 + l_2^2)/2 = \theta - (\tau_1 + \tau_2)$ 、 $Cl = \theta + (l_1^2 + l_2^2)/2 = \theta + (\tau_1 + \tau_2)$  で照査するとよい。

ニ) ( $UR, C=K$ ) 上の点

イ)、ロ) に示した ( $UR, C=K$ ) 上の点  $KA_1, KE_1, KA_2, KE_2$  と点  $BC, EC$  の関係について述べると、次のようである。

- ① 2つの点  $KA_1, KE_1$  は、( $UR, C-\bar{K}$ ) では1つの点  $BC$  となる。
- ② 2つの点  $KA_2, KE_2$  は、( $UR, C$ ) では1つの点  $EC$  となる。



③ 2つの点  $KE_1, KE_2$  は,  $(UR, K-\bar{K})$  では1つの点となる.

④  $(UR, \bar{K})$  では, 2つの点  $BC, KE_2$  は1つの点となる.

b)  $(UR, C=K)$  に特有の諸要素

$(UR, C=K)$  に特有の諸要素のうち, 表 2.47 に示した諸要素は, 表 2.48 に示した式から得られる. これらの諸要素について述べよう.

イ)  $\Delta g$ :  $(UR, C-K)_1, (UR, C-K)_2$  における外線長の差である.

ロ)  $\Delta d$ : 道路夾角の二等分線と  $(UR, C=K)$  の基準線に夾まれた測線の長さである.

ハ)  $\bar{d}_1, \bar{d}_2$ :  $(UR, C=K)$  の接線長を  $\bar{d}_1, \bar{d}_2$  とする.  $\bar{d}_1$  を短接線長,  $\bar{d}_2$  を長接線長と呼ぶ.

ニ)  $\delta$ : 点 P と点 M を結ぶ直線が道路夾角の二等分線となす角度を単位円の回転角  $\delta$  と呼ぶ. ここに, 点 P は単位円と道路夾角の二等分線の交点である.

ホ)  $g^*$ : 道路交角の二等分線と単位円に夾まれた道路夾角の二等分線の長さである.

ヘ)  $(g_1+g_2)/2^*$ : 道路交角の二等分線と単位円に夾まれた基準線の長さ, すなわち, 道路交角の二等分線と単位円の距離である.

## (2) $(C=K)$ の諸要素

$(C=K)$  は, 式  $(C=K)=R(UR, C=K)$  から得られる.

## (3) 曲線長に関する公式

$(C=K)$  の曲線長に関する諸要素の式を示すと, 表 2.49 のようである. これらの式は,  $(C=K)$  を構成する  $(C-K)_1, (C-K)_2$  の式と,  $(C-K)_1, (C-K)_2$  から成立する  $(C=K)$  の式に分類して示した.  $(UR, C=K)$  の曲線長に関する諸要素の式を示すと, 表 2.50 のようである.

表 2.49  $(C=K)$  の曲線長に関する諸要素の式

$(C-K)_1$	$(C-K)_2$	$(C=K)$
(1) $A_1^2=R \cdot L_1$ $L_1=A_1^2/R$ $LC_1=R \cdot \theta - L_1$ $LC_1=R \cdot \theta - A_1^2/R$ $CL_1=R \cdot \theta + L_1$ $CL_1=R \cdot \theta + A_1^2/R$ $R \cdot \theta = (LC_1 + CL_1)/2$ $CL_1 = LC_1 + 2L_1$ $L_1 = 2R \cdot \tau_1$ $LC_1 = R(\theta - 2\tau_1)$ $CL_1 = R(\theta + 2\tau_1)$ $\alpha_1 = \theta - 2\tau_1$ $\bar{\alpha}_1 = \theta + 2\tau_1$ $LC_1 = R \cdot \alpha_1$ $CL_1 = R \cdot \bar{\alpha}_1$	(2) $A_2^2=R \cdot L_2$ $L_2=A_2^2/R$ $LC_2=R \cdot \theta - L_2$ $LC_2=R \cdot \theta + A_2^2/R$ $CL_2=R \cdot \theta + L_2$ $CL_2=R \cdot \theta + A_2^2/R$ $R \cdot \theta = (LC_2 + CL_2)/2$ $CL_2 = LC_2 + 2L_2$ $L_2 = 2R \cdot \tau_2$ $LC_2 = R(\theta - 2\tau_2)$ $CL_2 = R(\theta + 2\tau_2)$ $\alpha_2 = \theta - 2\tau_2$ $\bar{\alpha}_2 = \theta + 2\tau_2$ $LC_2 = R \cdot \alpha_2$ $CL_2 = R \cdot \bar{\alpha}_2$	$A_1^2 + A_2^2 = R(L_1 + L_2)$ $L_1 + L_2 = (A_1^2 + A_2^2)/R$ (3) $LC = R \cdot \theta - (L_1 + L_2)/2$ (4) $LC = R \cdot \theta - (A_1^2 + A_2^2)/2R$ (5) $CL = R \cdot \theta + (L_1 + L_2)/2$ (6) $CL = R \cdot \theta + (A_1^2 + A_2^2)/2R$ (7) $2R \cdot \theta = (LC_1 + LC_2)/2 + (CL_1 + CL_2)/2 = LC + CL$ (8) $CL = (LC_1 + LC_2)/2 + (L_1 + L_2) = LC + (L_1 + L_2)$ $L_1 + L_2 = 2R(\tau_1 + \tau_2)$ $LC = R[\theta - (\tau_1 + \tau_2)]$ $CL = R[\theta + (\tau_1 + \tau_2)]$ $\alpha = \theta - (\tau_1 + \tau_2)$ $\bar{\alpha} = \theta + (\tau_1 + \tau_2)$ $LC = R(\alpha_1 + \alpha_2)/2$ $CL = R(\bar{\alpha}_1 + \bar{\alpha}_2)/2$

注1)  $LC = (LC_1 + LC_2)/2$ ,  $CL = (CL_1 + CL_2)/2$ ,  $\alpha = (\alpha_1 + \alpha_2)/2$ ,  $\bar{\alpha} = (\bar{\alpha}_1 + \bar{\alpha}_2)/2$  である.

2)  $0.5 < \tau_2/\theta \leq 1$  では  $LC_2, \alpha_2$  の符号は-である.

3) (9)  $A_1^2 \cdot L_2 = A_2^2 \cdot L_1$  である.

4)  $(C-K)_1$  または  $(C-K)_2$  の欄に示した公式は添字 1, または, 2 を除くと  $(C-K)$  の公式となる (表 2.38 参照).

\* 広義の  $(UR, C=K)$  において式  $(g_1+g_2)/2 \leq g$  が成立する.

表2.50 ( $UR, C=K$ ) の曲線長に関する諸要素の式

$(UR, C-K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(UR, C=K)$
$lC_1 = \theta - l_1^2$	$lC_2 = \theta - l_2^2$	$lC = \theta - (l_1^2 + l_2^2)/2$
$Cl_1 = \theta + l_1^2$	$Cl_2 = \theta + l_2^2$	$Cl = \theta + (l_1^2 + l_2^2)/2$
$\theta = (lC_1 + Cl_1)/2$	$\theta = (lC_2 + Cl_2)/2$	$2\theta = (lC_1 + lC_2)/2 + (Cl_1 + Cl_2)/2 = lC + Cl$
$Cl_1 = lC_1 + 2l_1^2$	$Cl_2 = lC_2 + 2l_2^2$	$Cl = (lC_1 + lC_2)/2 + (l_1^2 + l_2^2) = lC + (l_1^2 + l_2^2)$
$l_1^2 = 2\tau_1$	$l_2^2 = 2\tau_2$	$l_1^2 + l_2^2 = 2(\tau_1 + \tau_2)$
$lC_1 = \theta - 2\tau_1$	$lC_2 = \theta - 2\tau_2$	$lC = \theta - (\tau_1 + \tau_2)$
$Cl_1 = \theta + 2\tau_1$	$Cl_2 = \theta + 2\tau_2$	$Cl = \theta + (\tau_1 + \tau_2)$
$\alpha_1 = \theta - 2\tau_1$	$\alpha_2 = \theta - 2\tau_2$	$\alpha = \theta - (\tau_1 + \tau_2)$
$\bar{\alpha}_1 = \theta + 2\tau_1$	$\bar{\alpha}_2 = \theta + 2\tau_2$	$\bar{\alpha} = \theta + (\tau_1 + \tau_2)$
$lC_1 = \alpha_1$	$lC_2 = \alpha_2$	$lC = (\alpha_1 + \alpha_2)/2$
$Cl_1 = \bar{\alpha}_1$	$Cl_2 = \bar{\alpha}_2$	$Cl = (\bar{\alpha}_1 + \bar{\alpha}_2)/2$

注1)  $lC = (lC_1 + lC_2)/2$ ,  $Cl = (Cl_1 + Cl_2)/2$ ,  $\alpha = (\alpha_1 + \alpha_2)/2$ ,  $\bar{\alpha} = (\bar{\alpha}_1 + \bar{\alpha}_2)/2$  である。

2)  $0.5 < \tau_2/\theta \leq 1$  では,  $lC_2$ ,  $\alpha_2$  の符号は-である。

3)  $(UR, C-K)_1$  または  $(UR, C-K)_2$  の欄に示した公式は, 添字 1 または 2 を除くと  $(UR, C=K)$  の公式となる。

#### (4) 計 算 法

狭義の  $(C=K)$  の自由度は 4 である。したがって,  $(C=K)$  を求めることができる諸要素の数は 4 である。計算条件を 3 つに分類して  $(C=K)$  の計算法を示すと, 次のようである。

ア)  $\theta$ ,  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $X_n$  を与えて,  $(C=K)$  を求める場合

$\theta$ ,  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  および  $(C=K)$  において長さの単位を持つ 1 つの要素  $X_n$  を与えて,  $(C=K)$  を求める計算法は, 次のようである。

イ)  $\theta$ ,  $\tau_1$  を用いて  $(UR, C-K)_1$  を求める。

ロ)  $\theta$ ,  $\tau_2$  を用いて  $(UR, C-K)_2$  を求める。

ハ)  $(UR, C=K)$  に特有の諸要素を求める。

ニ) 式  $R = X_n/x_n$  から  $R$  を求める。

表 2.51  $\theta$  を含む計算条件と解法

計 算 条 件	解	計 算 条 件	解
$A_1, A_2, R$	① $L_1$ , ② $L_2$	$A_2, R, Cl$	⑥ $A_1$
$A_1, A_2, L_1$	① $R$	$A_2, L_1, L_2$	② $R$ , ① $A_1$
$A_1, A_2, L_2$	② $R$	$A_2, L_1, LC$	⑨ $L_2 \rightarrow$ ③, ③+④ $R, A_1$
$A_1, A_2, LC$	④ $R$	$A_2, L_1, Cl$	⑨ $L_2 \rightarrow$ ⑤, ⑤+⑥ $R, A_1$
$A_1, A_2, Cl$	⑥ $R$	$A_2, L_2, LC$	② $R$ , ④ $A_1$
$A_1, R, L_2$	② $A_2$	$A_2, L_2, Cl$	② $R$ , ⑥ $A_1$
$A_1, R, LC$	④ $A_2$	$A_2, LC, Cl$	⑦ $R$ , ② $L_2$ , ⑧ $L_1$ , ① $A_1$
$A_1, R, Cl$	⑥ $A_2$	$R, L_1, L_2$	① $A_1$ , ② $A_2$
$A_1, L_1, L_2$	① $R$ , ② $A_2$	$R, L_1, LC$	① $A_1$ , ④ $A_2$
$A_1, L_1, LC$	① $R$ , ④ $A_2$	$R, L_1, Cl$	① $A_1$ , ⑥ $A_2$
$A_1, L_1, Cl$	① $R$ , ⑥ $A_2$	$R, L_2, LC$	② $A_2$ , ④ $A_1$
$A_1, L_2, LC$	⑨ $L_1 \rightarrow$ ③, ③+④ $R, A_2$	$R, L_2, Cl$	② $A_2$ , ⑥ $A_1$
$A_1, L_2, Cl$	⑨ $L_1 \rightarrow$ ⑤, ⑤+⑥ $R, A_2$	$L_1, L_2, LC$	③ $R$ , ① $A_1$ , ② $A_2$
$A_1, LC, Cl$	⑦ $R$ , ① $L_1$ , ⑧ $L_2$ , ② $A^2$	$L_1, L_2, Cl$	⑤ $R$ , ① $A_1$ , ② $A_2$
$A_2, R, L_1$	① $A_1$	$L_1, LC, Cl$	⑦ $R$ , ① $A_1$ , ⑧ $L_2$ , ① $A_2$
$A_2, R, LC$	④ $A_1$	$L_2, LC, Cl$	⑦ $R$ , ② $A_2$ , ⑧ $L_1$ , ① $A_1$

注1) 計算条件に  $\theta$  を省略した。

2)  $A_1/R = l_1$ ,  $A_2/R = l_2$  である。

ホ) 式  $(C=K)=R(UR, C=K)$  から  $(C=K)$  を求める。

次に示す計算条件は、この計算法を準

用することができる。

イ)  $\theta, l_1, l_2, X_n$

ロ)  $\theta, l_1^2, l_2^2, X_n$

ハ)  $\theta, \Delta r_1/r_1, \Delta r_2/r_2, X_n$

ニ)  $\theta, a, b, X_n$

ブ) 計算条件に  $\theta$  が含まれている場合

$\theta$  を含む計算条件と解法の概要を示すと、表 2.51 のようである。表 2.51 について述べよう。

イ) 解法の欄に示した記号の意味は、表 2.52 のようである。

ロ) 解法の欄に示した番号は、表 2.49 における公式の番号を示す。

ハ) 表 2.51 に示した解法を用いると計算条件は、a) に同じとなる。

ニ) 計算条件に  $\theta$  が含まれていない場合

計算条件と解法の概要を示すと、表 2.53 のようである。この解法を用いると計算条件は、a) に同じとなる。

表 2.53  $\theta$  を含まない計算条件と解法

計算条件	解法	設計条件	解法
$A_1, A_2, R, LC$	④ $\theta$	$A_1, L_2, LC, CL$	⑦ $R \cdot \theta, ③L_1, ①R, ②A_2, ⑦\theta$
$A_1, A_2, R, CL$	⑥ $\theta$	$A_2, R, L_1, LC$	① $A_1, ④\theta$
$A_1, A_2, L_1, LC$	① $R, ④\theta$	$A_2, R, L_1, CL$	① $A_1, ⑥\theta$
$A_1, A_2, L_1, CL$	① $R, ⑥\theta$	$A_2, R, LC, CL$	⑦ $\theta, ④A_1$
$A_1, A_2, L_2, LC$	② $R, ④\theta$	$A_2, L_1, L_2, LC$	② $R, ①A_1, ④\theta$
$A_1, A_2, L_2, CL$	② $R, ⑥\theta$	$A_2, L_1, L_2, CL$	② $R, ①A_1, ⑥\theta$
$A_1, A_2, LC, CL$	④+⑥ $R, \theta$	$A_2, L_1, LC, CL$	⑦ $R \cdot \theta, ③L_2, ②R, ①A_1, ⑦\theta$
$A_1, R, L_2, LC$	② $A_2, ④\theta$	$A_2, L_2, LC, CL$	② $R, ⑦\theta, ④A_1$
$A_1, R, L_2, CL$	② $A_2, ⑥\theta$	$R, L_1, L_2, LC$	① $A_1, ②A_2, ④\theta$
$A_1, R, LC, CL$	⑦ $\theta, ④A_2$	$R, L_1, L_2, CL$	① $A_1, ②A_2, ⑥\theta$
$A_1, L_1, L_2, LC$	① $R, ②A_2, ③\theta$	$R, L_1, LC, CL$	① $A_1, ⑦\theta, ④A_2$
$A_1, L_1, L_2, CL$	① $R, ②A_2, ⑥\theta$	$R, L_2, LC, CL$	② $A_2, ⑦\theta, ④A_1$
$A_1, L_1, LC, CL$	① $R, ⑦\theta, ④A_2$		

### 2.6.3 広義の $(C=K)$

広義の  $(UR, C=K)$  および  $(C=K)$  における式について述べよう。

(1) 広義の  $(UR, C=K)$  の公式

表 2.48, 2.50 に示した式は、広義の  $(UR, C=K)$  の一般式である。したがって、これらの式に、図 2.26 に示した条件を代入すると、他の 6 種類の単位平面線形、すなわち  $(UR, C-K), (UR, K-\bar{K}), (UR,$

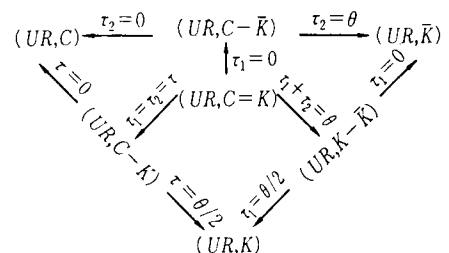


図 2.26  $\tau_1, \tau_2$  と広義の  $(UR, C=K)$

$C-\bar{K}$ ),  $(UR, C)$ ,  $(UR, K)$ ,  $(UR, \bar{K})$  の式が得られる. たとえば,  $\tau_1=\tau_2=\tau$  を代入すると,  $(UR, C-K)$  の式が得られる. そして, さらに,  $\tau_1=0$  とおくと  $(UR, C)$  の式が, また,  $\tau=\theta/2$  とおくと  $(UR, K)$  の式が得られる.

### (2) 広義の $(C=K)$ の公式

表 2.48, 2.49 に示した式は, 広義の  $(C=K)$  の一般式であり, 他の平面線形  $(C-K)$ ,  $(K-\bar{K})$ ,  $(C-\bar{K})$ ,  $(C)$ ,  $(K)$ ,  $(\bar{K})$  の式との関係は単位平面線形の場合と同じである.

### (3) 曲線長の比

表 2.43 に示した曲線長の比は, 広義の  $(UR, C=K)$ ,  $(C=K)$  の一般式である. ただし, 表 2.43 のうち 3 つの曲線長の比は, 狭義の場合を示す. そして, 広義の場合は, 線形を 7 つに分類して示さなければならない (表 2.54 参照).

表 2.54 曲線長の比を求める公式

記 号	自由度	曲 線 長 の 比	$a, b$ の 式	$k_1, k_2$ の範囲
$(UR, C=K)$	3	$l_1^2: lC: l_2^2=1: a: b$	$a=\{\theta-(l_1^2+l_2^2)/2\}/l_1^2, b=l_2^2/l_1^2$	$0 < k_1 < k_2$
$(C=K)$	4	$L_1: LC: L_2=1: a: b$	$a=\{1-(k_1+k_2)\}/2k_1, b=k_2/k_1$	$k_1+k_2 < 1$
$(UR, C-K)$	2	$lC/l^2=a$	$a=(\theta-l^2)/l^2$	$k_1=k_2=k$
$(C-K)$	3	$LC/L=a$	$a=(1-2k)/2k$	$0 < k < 0.5$
$(UR, K-\bar{K})$	2	$l_2^2/l_1^2=a$	$a=l_2^2/l_1^2$	$k_1+k_2=1$
$(K-\bar{K})$	3	$L_2/L_1=a$	$a=k_2/k_1$	$0 < k_1 < 0.5$
$(UR, C-\bar{K})$	2	$l_2^2/lC=a$	$a=l_2^2/(\theta-l_1^2/2)$	$k_1=0$
$(C-\bar{K})$	3	$L_2/LC=a$	$a=2k_2/(1-k_2)$	$0 < k_2 < 1$

注) 自由度 1 の単位平面線形における曲線長の比は既知である.

### (4) 電子計算機の公式

3 つの変数  $\theta, k_1, k_2$  を与えて図 2.21 に示した三角柱  $O, D'', C', A', D, C'$  上の任意の点に対応する広義の  $(UR, C=K)$  の諸要素 (表 2.47 参照) を電子計算機を用いて求める式を示すと, 次のようである. ただし,  $l_1=(2k_1\cdot\theta)^{1/2}$ ,  $l_2=(2k_2\cdot\theta)^{1/2}$  である.

イ)  $(UR, C-K)_1$  の諸要素

$$g_1 = \{\sec(\theta/2) - 1\} \{l_1 \cdot y_1 + \cos(l_1^2/2)\} + l_1 \cdot y_1 + \cos(l_1^2/2) - 1$$

$$d_1 = \{\tan(\theta/2)\} \{l_1 \cdot y_1 + \cos(l_1^2/2)\} + l_1 \cdot x_1 - \sin(l_1^2/2)$$

$$l_1^2 = 2k_1 \cdot \theta$$

$$lC_1 = \theta - l_1^2$$

$$Cl_1 = \theta + l_1^2$$

$$\Delta r_1/r_1 = l_1 \cdot y_1 + \cos(l_1^2/2) - 1$$

ロ)  $(UR, C-K)_2$  の諸要素

$$g_2 = \{\sec(\theta/2) - 1\} \{l_2 \cdot y_2 + \cos(l_2^2/2)\} + l_2 \cdot y_2 + \cos(l_2^2/2) - 1$$

$$d_2 = \{\tan(\theta/2)\} \{l_2 \cdot y_2 + \cos(l_2^2/2)\} + l_2 \cdot x_2 - \sin(l_2^2/2)$$

$$l_2^2 = 2k_2 \cdot \theta$$



表 2.55 (UR, C=K) における諸要素の範囲

諸要素		最小		最大	
		値	記号	値	記号
接線角	$\tau_1$	0	(UR, C- $\bar{K}$ )	$\theta/2$	(UR, K)
	$\tau_2$	0	(UR, C)	$\theta$	(UR, $\bar{K}$ )
パラメーター	$l_1$	0	(UR, C- $\bar{K}$ )	$\theta^{1/2}$	(UR, K)
	$l_2$	0	(UR, C)	$(2\theta)^{1/2}$	(UR, $\bar{K}$ )
クロソイド長	$l_1^2$	0	(UR, C- $\bar{K}$ )	$\theta$	(UR, K)
	$l_2^2$	0	(UR, C)	$2\theta$	(UR, $\bar{K}$ )
	$l_1^2 + l_2^2$	0	(UR, C)	$2\theta$	(UR, K- $\bar{K}$ )
単曲線長	$lC_1/2$	0	(UR, K)	$\theta/2$	(UR, C- $\bar{K}$ )
	$lC_2/2$	$-\theta/2$	(UR, $\bar{K}$ )	$\theta/2$	(UR, C)
	$lC$	0	(UR, K- $\bar{K}$ )	$\theta$	(UR, C)
曲線長	$Cl_1/2$	$\theta/2$	(UR, C- $\bar{K}$ )	$\theta$	(UR, K)
	$Cl_2/2$	$\theta/2$	(UR, C)	$3\theta/2$	(UR, $\bar{K}$ )
	$Cl$	$\theta$	(UR, C)	$2\theta$	(UR, K- $\bar{K}$ )
接線角/道路交角	$\tau_1/\theta$	0	(UR, C- $\bar{K}$ )	1/2	(UR, K)
	$\tau_2/\theta$	0	(UR, C)	1	(UR, $\bar{K}$ )
接線長の比	$\bar{d}_2/\bar{d}_1$	1	(UR, C)	$tL/tK$	(UR, $\bar{K}$ )

注) 記号の欄は、最大値または最小値となる単位平面線形の記号を示す。

表 2.56 数表 2 から求めた諸要素

$l$	$l^2$	$\tau$	$\Delta r/r$	$l \cdot xM$
0.511664	0.261800	7°30'	0.002854	0.130825
0.723601	0.523599	15°00'	0.011395	0.261202
0.886227	0.785398	22°30'	0.025561	0.390689
1.023326	1.047197	30°00'	0.045248	0.518850
1.144114	1.308997	37°30'	0.070313	0.645263
1.253314	1.570796	45°00'	0.100573	0.769523
1.353734	1.832596	52°30'	0.135811	0.891244
1.447202	2.094395	60°00'	0.175776	1.010063

表 2.57 ①②④⑦⑩の点に対応する単位平面線形の計算

番号	①	②	④	⑦	⑩
記号	(UR, C)	(UR, C-K)	(UR, C-K)	(UR, C-K)	(UR, K)
諸要素					
道路交角	$\theta=60^\circ 00' (=1.047198)$				
接線角	$\tau=0$	$\tau=7^\circ 30'$	$\tau=15^\circ 00'$	$\tau=22^\circ 30'$	$\tau=30^\circ 00'$
外線長	$\bar{g}=0.154701$	$g=0.157997$	$g=0.167859$	$g=0.184216$	$g=0.206949$
パラメーター	$l=0$	$l=0.511664$	$l=0.723601$	$l=0.886227$	$l=1.023327$
曲率半径	$\bar{r}=1.000000$				
接線長	$\bar{d}=0.577350$	$d=0.709823$	$d=0.845131$	$d=0.982797$	$d=1.122324$
クロソイド長	$l^2=0$	$l^2=0.261800$	$l^2=0.523599$	$l^2=0.785398$	$l^2=1.047198$
単曲線長	$lC=1.047198$	$lC=0.785398$	$lC=0.523599$	$lC=0.261800$	$lC=0$
曲線長	$Cl=1.047198$	$Cl=1.308998$	$Cl=1.570797$	$Cl=1.832596$	$Cl=2.094395$
移程量	$\Delta r/r=0$	$\Delta r/r=0.002854$	$\Delta r/r=0.011395$	$\Delta r/r=0.025561$	$\Delta r/r=0.045248$
接線角/道路交角	$\tau/\theta=0$	$\tau/\theta=0.125000$	$\tau/\theta=0.250000$	$\tau/\theta=0.375000$	$\tau/\theta=0.500000$
曲線長の比		$lC/l^2=2.999992$	$lC/l^2=1.000000$	$lC/l^2=0.333334$	

イ)  $\theta = 60^\circ 00'$ ,  $R = 80.0 \text{ m}$  である。(図 2.21 参照)。

ロ) 計算例は, 数表 1 から求めた諸要素  $\theta = 1.047198$ ,  $\bar{g} = 0.154701$ ,  $\bar{d} = 0.577350$  と数表 2 から求めた諸要素 (表 2.56 参照) を用いて求めている。

ハ) 計算例に示した値は, 電子計算機に 3. (4) に示した式と所定の計算条件を入力して得られる値と一致する。(表 2.72 ~ 2.86 参照)。

表 2.58 ①②④⑦①の点に対応する平面線形の計算表

番 号	①	②	④	⑦	①
記号	(C)	(C-K)	(C-K)	(C-K)	(K)
諸要素					
道 路 交 角	$\theta = 60^\circ 00' (= 1.047198)$				
接 線 角	$\tau = 0$	$\tau = 7^\circ 30'$	$\tau = 15^\circ 00'$	$\tau = 22^\circ 30'$	$\tau = 30^\circ 00'$
外 線 長	$G = 12.376$	$G = 12.640$	$G = 13.429$	$G = 14.737$	$G = 16.556$
パ ラ メ ー タ ー	$A = 0$	$A = 40.933$	$A = 57.888$	$A = 70.898$	$A = 81.866$
曲 率 半 径	$R = 80.000$				
接 線 長	$D = 46.188$	$D = 56.786$	$D = 67.610$	$D = 78.624$	$D = 89.786$
ク ロ ソ イ ド 長	$L = 0$	$L = 20.944$	$L = 41.888$	$L = 62.832$	$L = 83.776$
単 曲 線 長	$LC = 83.776$	$LC = 62.832$	$LC = 41.888$	$LC = 20.944$	$LC = 0$
曲 線 長	$CL = 83.776$	$CL = 104.720$	$CL = 125.664$	$CL = 146.608$	$CL = 167.552$
移 程 量	$\Delta R = 0$	$\Delta R = 0.228$	$\Delta R = 0.912$	$\Delta R = 2.045$	$\Delta R = 3.620$
接線角/道路交角	$\tau/\theta = 0$	$\tau/\theta = 0.125$	$\tau/\theta = 0.250$	$\tau/\theta = 0.375$	$\tau/\theta = 0.500$
曲 線 長 の 比		$LC/L = 3.000000$	$LC/L = 1.000000$	$LC/L = 0.333333$	

表 2.59 ③の点に対応する線形の計算表

諸要素	単位平面線形			平面線形				
	(UR, C)	(UR, C-K) <sub>2</sub>	(UR, C=K)	(C)	(C-K)	(C=K)		
道路交角	θ=60°00' (=1.047198)							
接線角, 回転角	τ <sub>1</sub> =0		τ <sub>2</sub> =15°00'	δ=39'11''				
外線長	g <sub>1</sub> =0.154701	g <sub>2</sub> =0.167859	Δg=0.013158	g=0.161345	G <sub>1</sub> =12.376	G <sub>2</sub> =13.429	ΔG=1.053	G=12.908
パラメーター, 外線長	l <sub>1</sub> =0	l <sub>2</sub> =0.723601	(g <sub>1</sub> +g <sub>2</sub> )/2=0.161280		A <sub>1</sub> =0	A <sub>2</sub> =57.888	(G <sub>1</sub> +G <sub>2</sub> )/2=12.902	
曲率半径, 接線長	r̄=1.000000		Δd=0.013158		R=80.000		ΔD=1.053	
接線長	d <sub>1</sub> =0.577350	d <sub>2</sub> =0.845131	d̄ <sub>1</sub> =0.590508	d̄ <sub>2</sub> =0.831973	D <sub>1</sub> =46.188	D <sub>2</sub> =67.610	D̄ <sub>1</sub> =47.241	D̄ <sub>2</sub> =66.558
クイソイド長	l <sub>1</sub> <sup>2</sup> =0	l <sub>2</sub> <sup>2</sup> =0.523599	l <sub>1</sub> <sup>2</sup> +l <sub>2</sub> <sup>2</sup> =0.523599		L <sub>1</sub> =0	L <sub>2</sub> =41.888	L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub> =41.888	
単曲線長	lC <sub>1</sub> =1.047198	lC <sub>2</sub> =0.523599	lC=0.785399		LC <sub>1</sub> =83.776	LC <sub>2</sub> =41.888	LC=62.832	
曲線長	Cl <sub>1</sub> =1.047198	Cl <sub>2</sub> =1.570797	Cl=1.308998		CL <sub>1</sub> =83.776	CL <sub>2</sub> =125.664	CL=104.720	
移程量	Δ <sub>1</sub> =0	Δ <sub>2</sub> =0.011395			ΔR <sub>1</sub> =0	ΔR <sub>2</sub> =0.912		
接線角/道路交角	τ <sub>1</sub> /θ=0		τ <sub>2</sub> /θ=0.250		τ <sub>1</sub> /θ+τ <sub>2</sub> /θ=0.250			
曲線長の比	lC: l <sub>2</sub> <sup>2</sup> =LC: L <sub>2</sub> =1: a=1: 0.666667							

注)  $\Delta_1 = \Delta r_1/r_1$ ,  $\Delta_2 = \Delta r_2/r_2$  である。

表 2.60 ⑤の点に対応する線形の計算表

線形 諸要素	単・位平・面線形			平・面線形				
	$(UR, C-K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(UR, C=K)$	$(C-K)_1$	$(C-K)_2$	$(C=K)$		
道路交角	$\theta=60^{\circ}00' (=1.047198)$							
接線角, 回転角	$\tau_1=7^{\circ}30'$		$\tau_2=22^{\circ}30'$		$\delta=1^{\circ}18'04''$			
外線長	$g_1=0.157997$	$g_2=0.184216$	$\Delta g=0.026219$	$g=0.171364$	$G_1=12.640$	$G_2=14.737$	$\Delta G=2.098$	$G=13.709$
パラメーター, 外線長	$l_1=0.511664$	$l_2=0.886227$	$(g_1+g_2)/2=0.171107$		$A_1=40.933$	$A_2=70.898$	$(G_1+G_2)/2=13.689$	
曲率半径, 接線長	$\bar{r}=1.000000$		$\Delta d=0.026219$		$R=80.000$		$\Delta D=2.098$	
接線長	$d_1=0.709823$	$d_2=0.982797$	$\bar{d}_1=0.736042$	$\bar{d}_2=0.956578$	$D_1=56.766$	$D_2=78.624$	$\bar{D}_1=58.883$	$\bar{D}_2=76.526$
クロソイド長	$l_1^2=0.261800$	$l_2^2=0.785398$	$l_1^2+l_2^2=1.047198$		$L_1=20.944$	$L_2=62.832$	$L_1+L_2=83.776$	
単曲線長	$lC_1=0.785398$	$lC_2=0.261800$	$lC=0.523599$		$LC_1=62.832$	$LC_2=20.944$	$LC=41.888$	
曲線長	$Cl_1=1.308998$	$Cl_2=1.832596$	$Cl=1.570797$		$CL_1=104.720$	$CL_2=146.608$	$CL=125.664$	
移程量	$\Delta_1=0.002854$	$\Delta_2=0.025561$			$\Delta R_1=0.228$	$\Delta R_2=2.045$		
接線角/道路交角	$\tau_1/\theta=0.125$		$\tau_2/\theta=0.375$		$\tau_1/\theta+\tau_2/\theta=0.500$			
曲線長の比	$l_1^2:lC:l_2^2=L_1:LC:L_2=1:2.000000:3.000000$							

表 2.61 ⑥の点に対応する線形の計算表

諸要素	線形		単位平面線形		平面線形			
	$(UR, C-K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(UR, C=K)$	$(C-K)_1$	$(C-K)_2$	$(C=K)$		
道路交角	$\theta=60^{\circ}00' (=1.047198)$							
接線角, 回転角	$\tau_1=0$		$\tau_2=30^{\circ}00'$		$\delta=2^{\circ}35'36''$			
外線長	$g_1=0.154701$	$g_2=0.206949$	$\Delta g=0.052248$	$g=0.181849$	$G_1=12.376$	$G_2=16.556$	$\Delta G=4.180$	$G=14.548$
パラメーター, 外線長	$l_1=0$	$l_2=1.023326$	$(g_1+g_2)/2=0.180825$		$A_1=0$	$A_2=81.866$	$(G_1+G_2)/2=14.466$	
曲率半径, 接線長	$\bar{r}=1.000000$		$\Delta d=0.052248$		$R=80.000$		$\Delta D=4.180$	
接線長	$d_1=0.577350$	$d_2=1.122324$	$\bar{d}_1=0.629598$	$\bar{d}_2=1.070076$	$D_1=46.188$	$D_2=89.786$	$\bar{D}_1=50.368$	$\bar{D}_2=85.606$
クロソイド長	$l_1^s=0$	$l_2^s=1.047197$	$l_1^s+l_2^s=1.047197$		$L_1=0$	$L_2=83.776$	$L_1+L_2=83.776$	
単曲線長	$lC_1=1.047198$	$lC_2=0$	$lC=0.523599$		$LC_1=83.776$	$LC_2=0$	$LC=41.888$	
曲線長	$Cl_1=1.047198$	$Cl_2=2.094395$	$Cl=1.570797$		$CL_1=83.776$	$CL_2=167.552$	$CL=125.664$	
移程量	$\Delta_1=0$	$\Delta_2=0.045248$			$\Delta R_1=0$	$\Delta R_2=3.620$		
接線角/道路交角	$\tau_1/\theta=0$		$\tau_2/\theta=0.500$		$\tau_1/\theta+\tau_2/\theta=0.500$			
曲線長の比	$lC: l_2^s: LC: L_2=1: a=1: 2.000000$							



表 2.62 ⑧の点に対応する線形の計算表

諸要素	線形 単位平面線形			平面線形		
	$(UR, C-K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(UR, C=K)$	$(C-K)_1$	$(C-K)_2$	$(C=K)$
道路交角	$\theta=60^{\circ}00' (=1.047198)$					
接線角, 回転角	$\tau_1=15^{\circ}00'$		$\tau_2=30^{\circ}00'$	$\delta=1^{\circ}56'24''$		
外線長	$g_1=0.167859$	$g_2=0.206949$	$\Delta g=0.039090$	$g=0.187977$	$G_1=13.429$	$G_2=16.556$ $\Delta G=3.127$ $G=15.038$
パラメーター, 外線長	$l_1=0.723601$	$l_2=1.023326$	$(g_1+g_2)/2=0.187404$		$A_1=57.888$	$A_2=81.866$ $(G_1+G_2)/2=14.992$
曲率半径, 接線長	$\bar{r}=1.000000$		$\Delta d=0.039090$		$R=80.000$ $\Delta D=3.127$	
接線長	$d_1=0.845131$	$d_2=1.122324$	$\bar{d}_1=0.884221$	$\bar{d}_2=1.083234$	$D_1=67.610$	$D_2=89.786$ $\bar{D}_1=70.738$ $\bar{D}_2=86.659$
クロソイド長	$l_1^2=0.523599$	$l_2^2=1.047197$	$l_1^2+l_2^2=1.570796$		$L_1=41.888$	$L_2=83.776$ $L_1+L_2=125.664$
単曲線長	$lC_1=0.523599$	$lC_2=0$	$lC=0.261800$		$LC_1=41.888$	$LC_2=0$ $LC=20.944$
曲線長	$Cl_1=1.570797$	$Cl_2=2.094395$	$Cl=1.832596$		$CL_1=125.664$	$CL_2=167.552$ $CL=146.608$
移程量	$\Delta_1=0.011395$	$\Delta_2=0.045248$			$\Delta R_1=0.912$	$\Delta R_2=3.620$
接線角/道路交角	$\tau_1/\theta=0.250$		$\tau_2/\theta=0.500$		$\tau_1/\theta+\tau_2/\theta=0.750$	
曲線長の比	$l_1^2:lC:l_2^2=L_1:LC:L_2=1:a:b=1:0.500000:2.000000$					

表 2.63 ⑨の点に対応する線形の計算表

線形 諸要素	単位平面線形				平面線形		
	$(UR, C-K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(UR, C=K)$	$(C-K)_1$	$(C-K)_2$	$(C=K)$	
道路交角	$\theta=60^{\circ}00' (=1.047198)$						
接線角, 回転角	$\tau_1=7^{\circ}30'$		$\tau_2=37^{\circ}30'$	$\delta=3^{\circ}52'05''$			
外線長	$g_1=0.157997$	$g_2=0.235891$	$\Delta g=0.077894$	$g=0.199222$	$G_1=12.640$	$G_2=18.871$	$\Delta G=6.232$ $G=15.938$
パラメーター, 外線長	$l_1=0.511664$	$l_2=1.144114$	$(g_1+g_2)/2=0.196944$		$A_1=40.933$	$A_2=91.529$	$(G_1+G_2)/2=15.756$
曲率半径, 接線長	$\bar{r}=1.000000$		$\Delta d=0.077894$		$R=80.000$		$\Delta D=6.232$
接線長	$d_1=0.709823$	$d_2=1.263208$	$\bar{d}_1=0.787717$	$\bar{d}_2=1.185314$	$D_1=56.786$	$D_2=101.057$	$\bar{D}_1=63.017$ $\bar{D}_2=94.825$
クロソイド長	$l_1^2=0.261800$	$l_2^2=1.308997$	$l_1^2+l_2^2=1.570797$		$L_1=20.944$	$L_2=104.720$	$L_1+L_2=125.664$
単曲線長	$lC_1=0.755398$	$lC_2=(0.261799)$	$lC=0.261800$		$LC_1=62.832$	$LC_2=(20.944)$	$LC=20.944$
曲線長	$Cl_1=1.308998$	$lC_2=2.356195$	$Cl=1.832597$		$CL_1=104.720$	$CL_2=188.496$	$CL=146.608$
移程量	$\Delta_1=0.002854$	$\Delta_2=0.070313$			$\Delta R_1=0.228$	$\Delta R_2=5.625$	
接線角/道路交角	$\tau_1/\theta=0.125$		$\tau_2/\theta=0.625$		$\tau_1/\theta+\tau_2/\theta=0.750$		
曲線長の比	$l_1^2:lC:l_2^2=L_1:LC:L_2=1:a:b=1:1.000000:5.000000$						

注) ( )内の数値の符号は負である。





表 2.68 ⑤の点に対応する線形の計算表

線形 諸要素	単位平面線形			平面線形				
	$(UR, C-K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(UR, C=K)$	$(C-K)_1$	$(C-K)_2$	$(C=K)$		
道路交角	$\theta=60^{\circ}00' (=1.047198)$							
接線角, 回転角	$\tau_1=0$		$\tau_2=60^{\circ}00'$	$\delta=10^{\circ}07'26''$				
外線長	$g_1=0.154701$	$g_2=0.357670$	$\Delta g=0.202969$	$g=0.271756$	$G_1=12.376$	$G_2=28.614$	$\Delta G=16.238$	$G=21.740$
パラメーター, 外線長	$l_1=0$	$l_2=1.447202$	$(g_1+g_2)/2=0.256186$		$A_1=0$	$A_2=115.776$	$(G_1+G_2)/2=20.495$	
曲率半径, 接線長	$\bar{r}=1.000000$		$\Delta d=0.202969$	$R=80.000$			$\Delta D=16.238$	
接線長	$d_1=0.577350$	$d_2=1.688897$	$\bar{d}_1=0.780319$	$\bar{d}_2=1.485928$	$D_1=46.188$	$D_2=135.112$	$\bar{D}_1=62.426$	$\bar{D}_2=118.874$
クロソイド長	$l_1^2=0$	$l_2^2=2.094395$	$l_1^2+l_2^2=2.094395$		$L_1=0$	$L_2=167.552$	$L_1+L_2=167.552$	
単曲線長	$lC_1=1.047198$	$lC_2=(1.047197)$	$lC=0$		$LC_1=83.776$	$LC_2=(83.776)$	$LC=0$	
曲線長	$Cl_1=1.047198$	$Cl_2=3.141593$	$Cl=2.094396$		$CL_1=83.776$	$CL_2=251.327$	$CL=167.552$	
移程量	$\Delta_1=0$	$\Delta_2=0.175776$			$\Delta R_1=0$	$\Delta R_2=14.062$		
接線角/道路交角	$\tau_1/\theta=0$		$\tau_2/\theta=1.000$		$\tau_1/\theta+\tau_2/\theta=1.000$			

表 2.69  $(UR, K-\bar{K})$ ,  $(K-\bar{K})$  の曲線長に関する諸要素の公式

(1) $CL = 2R \cdot \theta$	(2) $CL = L_1 + L_2$	(3) $2R \cdot \theta = L_1 + L_2$
(4) $A_1^2 = R \cdot L_1$	(5) $A_2^2 = R \cdot L_2$	(6) $L_1 + L_2 = (A_1^2 + A_2^2)/R$
(7) $2R \cdot \theta = (A_1^2 + A_2^2)/R$	(8) $CL = (A_1^2 + A_2^2)/R$	(9) $A_1^2 \cdot L_2 = A_2^2 \cdot L_1$
(10) $L_1/A_1 = l_1$	(11) $L_2/A_2 = l_2$	$L_1 = 2R \cdot \tau_1$
$L_2 = 2R \cdot \tau_2$	$\theta = \tau_1 + \tau_2$	$Cl = 2\theta = l_1^2 + l_2^2$
$l_1^2 = 2\tau_1$	$l_2^2 = 2\tau_2$	

表 2.70  $\theta$  を含む計算条件と解法の概要

設計条件	解法	計算条件	解法
$A_1, A_2$	⑦R, ④L <sub>1</sub> , ⑤L <sub>2</sub> , ⑩l <sub>1</sub> , ⑪l <sub>2</sub>	$A_2, L_2$	⑤R, ③L <sub>1</sub>
$A_1, R$	④L <sub>1</sub> , ③L <sub>2</sub>	$A_2, CL$	①R, ⑤L <sub>2</sub> , ②L <sub>1</sub>
$A_1, L_1$	④R, ③L <sub>2</sub>	$R, L_1$	③L <sub>2</sub>
$A_1, L_2$	③+④R, L <sub>1</sub>	$R, L_2$	③L <sub>1</sub>
$A_1, CL$	①R, ④L <sub>1</sub> , ②L <sub>2</sub>	$L_1, L_2$	③R
$A_2, R$	⑤L <sub>2</sub> , ③L <sub>1</sub>	$L_1, CL$	②L <sub>2</sub> , ③R
$A_2, L_1$	③+⑤R, L <sub>2</sub>	$L_2, CL$	②L <sub>1</sub> , ③R

注) 計算条件の欄に  $\theta$  を省略した。表 2.71  $\theta$  を含まない計算条件と解法の概要

設計条件	解法	計算条件	解法
$A_1, A_2, R$	④L <sub>1</sub> , ⑤L <sub>2</sub>	$A_2, R, L_1$	⑤L <sub>2</sub>
$A_1, A_2, L_1$	④R, ⑤L <sub>2</sub>	$A_2, R, CL$	⑤L <sub>2</sub> , ②L <sub>1</sub>
$A_1, A_2, L_2$	⑤R, ④L <sub>1</sub>	$A_2, L_1, L_2$	⑤R
$A_1, A_2, CL$	⑧R, ④L <sub>1</sub> , ⑤L <sub>2</sub>	$A_2, L_1, CL$	②L <sub>2</sub> , ⑤R
$A_1, R, L_2$	④L <sub>1</sub>	$A_2, L_2, CL$	②L <sub>1</sub> , ⑤R
$A_1, R, CL$	④L <sub>1</sub> , ②L <sub>2</sub>	$R, L_1, L_2$	④A <sub>1</sub> , ⑤A <sub>2</sub>
$A_1, L_1, L_2$	④R	$R, L_1, CL$	②L <sub>2</sub>
$A_1, L_1, CL$	②L <sub>2</sub> , ④R	$R, L_2, CL$	②L <sub>1</sub>
$A_1, L_2, CL$	②L <sub>1</sub> , ④R		

注) 解法の欄に ③ $\theta$  を省略した。

### 2.6.5 非対称凸形クロソイド

非対称凸形クロソイドの曲線長に関する諸要素の式および設計条件と解法の概要を示すと、表 2.69～2.71 のようである。計算法は、( $C=K$ ) の場合と同じである。そして、計算例は表 2.57, 2.58 および表 2.65～2.68 を参照されたい。

### 2.6.6 単一クロソイド

単一クロソイドの計算法は、( $C=K$ ) の場合と同じである。計算例は、表 2.59, 2.61, 2.64, 2.68 を参照されたい。

表 2.72 ④の点に対応する単位平面線形の照査

THETA = 60°0'			K1 = 0.000			K2 = 0.000		
L1**2	=	0.000000	(= $l_1^2$ )	L2**2	=	0.000000	(= $l_2^2$ )	
L1	=	0.000000	(= $l$ )	L2	=	0.000000	(= $l_2$ )	
G1	=	0.154701	(= $g_1$ )	G2	=	0.154701	(= $g_2$ )	
D1	=	0.577350	(= $d_1$ )	D2	=	0.577350	(= $d_2$ )	
LC1	=	1.047198	(= $lC_1$ )	LC2	=	1.047198	(= $lC_2$ )	
CL1	=	1.047198	(= $Cl_1$ )	CL2	=	1.047198	(= $Cl_2$ )	
DR1/R1	=	0.000000	(= $\Delta_1$ )	DR2/R2	=	0.000000	(= $\Delta_2$ )	
DLT G	=	0.000000	(= $\Delta g$ )					
DLT D	=	0.000000	(= $\Delta d$ )					
D1 BAR	=	0.577350	(= $\bar{d}_1$ )					
D2 BAR	=	0.577350	(= $\bar{d}_2$ )					
G	=	0.154701	(= $g$ )					
L12+L22	=	0.000000	(= $l_1^2 + l_2^2$ )					
LC	=	1.047198	(= $lC$ )					
CL	=	1.047198	(= $Cl$ )					

表 2.73 ②の点に対応する単位平面線形の照査

THETA = 60°0'		K1 = 0.125 (=1/8) K2 = 0.125 (=1/8)	
L1**2	=	0.261799 (= $l_1^2$ )	L2**2 = 0.261799 (= $l_2^2$ )
L1	=	0.511663 (= $l_1$ )	L2 = 0.511663 (= $l_2$ )
G1	=	0.157996 (= $g_1$ )	G2 = 0.157996 (= $g_2$ )
D1	=	0.709823 (= $d_1$ )	D2 = 0.709823 (= $d_2$ )
LC1	=	0.785398 (= $lC_1$ )	LC2 = 0.785398 (= $lC_2$ )
CL1	=	1.308997 (= $Cl_1$ )	CL2 = 1.308997 (= $Cl_2$ )
DR1/R1	=	0.002854 (= $\Delta_1$ )	DR2/R2 = 0.002854 (= $\Delta_2$ )
DLT G	=	0.000000 (= $\Delta g$ )	
DLT D	=	0.000000 (= $\Delta d$ )	
D1 BAR	=	0.709823 (= $\overline{d_1}$ )	
D2 BAR	=	0.709823 (= $\overline{d_2}$ )	
G	=	0.157996 (= $g$ )	
L12+L22	=	0.523599 (= $l_1^2 + l_2^2$ )	
LC	=	0.785398 (= $lC$ )	
CL	=	1.308997 (= $Cl$ )	

表 2.74 ③の点に対応する単位平面線形の照査

THETA = 60°0'		K1 = 0.000 K2 = 0.250 (=1/4)	
L1**2	=	0.000000 (= $l_1^2$ )	L2**2 = 0.523599 (= $l_2^2$ )
L1	=	0.000000 (= $l_1$ )	L2 = 0.723601 (= $l_2$ )
G1	=	0.154701 (= $g_1$ )	G2 = 0.167859 (= $g_2$ )
D1	=	0.577350 (= $d_1$ )	D2 = 0.845132 (= $d_2$ )
LC1	=	1.047198 (= $lC_1$ )	LC2 = 0.523599 (= $lC_2$ )
CL1	=	1.047198 (= $Cl_1$ )	CL2 = 1.570796 (= $Cl_2$ )
DR1/R1	=	0.000000 (= $\Delta_1$ )	DR2/R2 = 0.011395 (= $\Delta_2$ )
DLT G	=	0.013158 (= $\Delta g$ )	
DLT D	=	0.013158 (= $\Delta d$ )	
D1 BAR	=	0.590508 (= $\overline{d_1}$ )	
D2 BAR	=	0.831974 (= $\overline{d_2}$ )	
G	=	0.161345 (= $g$ )	
L12+L22	=	0.523599 (= $l_1^2 + l_2^2$ )	
LC	=	0.785398 (= $lC$ )	
CL	=	1.308997 (= $Cl$ )	

表 2.75 ④の点に対応する単位平面線形の照査

THETA = 60°0'			K1 = 0.250 (= 1/4) K2 = 0.250 (= 1/4)		
L1**2	=	0.523599 (= $l_1^2$ )	L2**2	=	0.523599 (= $l_2^2$ )
L1	=	0.723601 (= $l_1$ )	L2	=	0.723601 (= $l_2$ )
G1	=	0.167859 (= $g_1$ )	G2	=	0.167859 (= $g_2$ )
D1	=	0.845132 (= $d_1$ )	D2	=	0.845132 (= $d_2$ )
LC1	=	0.523599 (= $lC_1$ )	LC2	=	0.523599 (= $lC_2$ )
CL1	=	1.570796 (= $Cl_1$ )	CL2	=	1.570796 (= $Cl_2$ )
DR1/R1	=	0.011395 (= $\Delta_1$ )	DR2/R2	=	0.011395 (= $\Delta_2$ )
DLT G	=	0.000000 (= $\Delta g$ )			
DLT D	=	0.000000 (= $\Delta d$ )			
D1 BAR	=	0.845132 (= $\bar{d}_1$ )			
D2 BAR	=	0.845132 (= $\bar{d}_2$ )			
G	=	0.167859 (= $g$ )			
L12+L22	=	1.047198 (= $l_1^2 + l_2^2$ )			
LC	=	0.523599 (= $lC$ )			
CL	=	1.570796 (= $Cl$ )			

表 2.76 ⑤の点に対応する単位平面線形の照査

THETA = 60°0'			K1 = 0.125 (= 1/4) K2 = 0.375 (= 3/8)		
L1**2	=	0.261799 (= $l_1^2$ )	L2**2	=	0.785398 (= $l_2^2$ )
L1	=	0.511663 (= $l$ )	L2	=	0.886227 (= $l_2$ )
G1	=	0.157996 (= $g_1$ )	G2	=	0.184216 (= $g_2$ )
D1	=	0.709823 (= $d_1$ )	D2	=	0.982797 (= $d_2$ )
LC1	=	0.785398 (= $lC_1$ )	LC2	=	0.261799 (= $lC_2$ )
CL1	=	1.308997 (= $Cl_1$ )	CL2	=	1.832596 (= $Cl_2$ )
DR1/R1	=	0.002854 (= $\Delta_1$ )	DR2/R2	=	0.025561 (= $\Delta_2$ )
DLT G	=	0.026220 (= $\Delta g$ )			
DLT D	=	0.026220 (= $\Delta d$ )			
D1 BAR	=	0.736043 (= $\bar{d}_1$ )			
D2 BAR	=	0.956577 (= $\bar{d}_2$ )			
G	=	0.171364 (= $g$ )			
L12+L22	=	1.047198 (= $l_1^2 + l_2^2$ )			
LC	=	0.523599 (= $lC$ )			
CL	=	1.570796 (= $Cl$ )			

表 2.77 ⑥の点に対応する単位平面線形の照査

THETA = 60°0'			K1 = 0.000		K2 = 0.500 (= 1/2)	
L1**2	=	0.000000 ( $= l_1^2$ )	L2**2	=	1.047198 ( $= l_2^2$ )	
L1	=	0.000000 ( $= l_1$ )	L2	=	1.023327 ( $= l_2$ )	
G1	=	0.154701 ( $= g_1$ )	G2	=	0.206948 ( $= g_2$ )	
D1	=	0.577350 ( $= d_1$ )	D2	=	1.122324 ( $= d_2$ )	
LC1	=	1.047198 ( $= lC_1$ )	LC2	=	0.000000 ( $= lC_2$ )	
CL1	=	1.047198 ( $= Cl_1$ )	CL2	=	2.094395 ( $= Cl_2$ )	
DR1/R1	=	0.000000 ( $= \Delta_1$ )	DR2/R2	=	0.045248 ( $= \Delta_2$ )	
DLT G	=	0.052248 ( $= \Delta g$ )				
DLT D	=	0.052248 ( $= \Delta d$ )				
D1 BAR	=	0.629598 ( $= \overline{d_1}$ )				
D2 BAR	=	1.070077 ( $= \overline{d_2}$ )				
G	=	0.181849 ( $= g$ )				
L12+L22	=	1.047198 ( $= l_1^2 + l_2^2$ )				
LC	=	0.523599 ( $= lC$ )				
CL	=	1.570796 ( $= Cl$ )				

表 2.78 ⑦の点に対応する単位平面線形の照査

THETA = 60°0'			K1 = 0.375 (= 3/8)		K2 = 0.375 (= 3/8)	
L1**2	=	0.785398 ( $= l_1^2$ )	L2**2	=	0.785398 ( $= l_2^2$ )	
L1	=	0.886227 ( $= l_1$ )	L2	=	0.886227 ( $= l_2$ )	
G1	=	0.184216 ( $= g_1$ )	G2	=	0.184216 ( $= g_2$ )	
D1	=	0.982797 ( $= d_1$ )	D2	=	0.982797 ( $= d_2$ )	
LC1	=	0.261799 ( $= lC_1$ )	LC2	=	0.261799 ( $= lC_2$ )	
CL1	=	1.832596 ( $= Cl_1$ )	CL2	=	1.832596 ( $= Cl_2$ )	
DR1/R1	=	0.025561 ( $= \Delta_1$ )	DR2/R2	=	0.025561 ( $= \Delta_2$ )	
DLT G	=	0.000000 ( $= \Delta g$ )				
DLT D	=	0.000000 ( $= \Delta d$ )				
D1 BAR	=	0.982797 ( $= \overline{d_1}$ )				
D2 BAR	=	0.982797 ( $= \overline{d_2}$ )				
G	=	0.184216 ( $= g$ )				
L12+L22	=	1.570796 ( $= l_1^2 + l_2^2$ )				
LC	=	0.261799 ( $= lC$ )				
CL	=	1.832596 ( $= Cl$ )				



表 2.79 ⑧の点に対応する単位平面線形の照査

THETA = 60°0'			K1 = 0.250 (= 1/4) K2 = 0.500 (= 1/2)		
L1**2	=	0.523599 (= $l_1^2$ )	L2**2	=	1.047198 (= $l_2^2$ )
L1	=	0.723601 (= $l_1$ )	L2	=	1.023327 (= $l_2$ )
G1	=	0.167859 (= $g_1$ )	G2	=	0.206948 (= $g_2$ )
D1	=	0.845132 (= $d_1$ )	D2	=	1.122324 (= $d_2$ )
LC1	=	0.523599 (= $lC_1$ )	LC2	=	0.000000 (= $lC_2$ )
CL1	=	1.570796 (= $Cl_1$ )	CL2	=	2.094395 (= $Cl_2$ )
DR1/R1	=	0.011395 (= $\Delta_1$ )	DR2/R2	=	0.045248 (= $\Delta_2$ )
DLT G	=	0.039090 (= $\Delta g$ )			
DLT D	=	0.039090 (= $\Delta d$ )			
D1 BAR	=	0.884221 (= $\bar{d}_1$ )			
D2 BAR	=	1.083235 (= $\bar{d}_2$ )			
G	=	0.187977 (= $g$ )			
L12+L22	=	1.570796 (= $l_1^2 + l_2^2$ )			
LC	=	0.261799 (= $lC$ )			
CL	=	1.832596 (= $Cl$ )			

表 2.80 ⑨の点に対応する単位平面線形の照査

THETA = 60°0'			K1 = 0.125 (= 1/8) K2 = 0.625 (= 5/8)		
L1**2	=	0.261799 (= $l_1^2$ )	L2**2	=	1.308997 (= $l_2^2$ )
L1	=	0.511663 (= $l_1$ )	L2	=	1.144114 (= $l_2$ )
G1	=	0.157996 (= $g_1$ )	G2	=	0.235890 (= $g_2$ )
D1	=	0.709823 (= $d_1$ )	D2	=	1.263208 (= $d_2$ )
LC1	=	0.785398 (= $lC_1$ )	LC2	=	-0.261799 (= $lC_2$ )
CL1	=	1.308997 (= $Cl_1$ )	CL2	=	2.356194 (= $Cl_2$ )
DR1/R1	=	0.002854 (= $\Delta_1$ )	DR2/R2	=	0.070312 (= $\Delta_2$ )
DLT G	=	0.077894 (= $\Delta g$ )			
DLT D	=	0.077894 (= $\Delta d$ )			
D1 BAR	=	0.787717 (= $\bar{d}_1$ )			
D2 BAR	=	1.185314 (= $\bar{d}_2$ )			
G	=	0.199221 (= $g$ )			
L12+L22	=	1.570796 (= $l_1^2 + l_2^2$ )			
LC	=	0.261799 (= $lC$ )			
CL	=	1.832596 (= $Cl$ )			

表 2.81 ⑩の点に対応する単位平面線形の照査

THETA . = 60°0'			K1 = 0.000		K2 = 0.750 (= 3/4)	
L1**2	=	0.000000 ( $= l_1^2$ )	L2**2	=	1.570796 ( $= l_2^2$ )	
L1	=	0.000000 ( $= l_1$ )	L2	=	1.253314 ( $= l_2$ )	
G1	=	0.154701 ( $= g_1$ )	G2	=	0.270832 ( $= g_2$ )	
D1	=	0.577350 ( $= d_1$ )	D2	=	1.404939 ( $= d_2$ )	
LC1	=	1.047198 ( $= lC_1$ )	LC2	=	-0.523599 ( $= lC_2$ )	
CL1	=	1.047198 ( $= Cl_1$ )	CL2	=	2.617994 ( $= Cl_2$ )	
DR1/R1	=	0.000000 ( $= \Delta_1$ )	DR2/R2	=	0.100573 ( $= \Delta_2$ )	
DLT G	=	0.116132 ( $= \Delta g$ )				
DLT D	=	0.116132 ( $= \Delta d$ )				
D1 BAR	=	0.693482 ( $= \overline{d_1}$ )				
D2 BAR	=	1.288807 ( $= \overline{d_2}$ )				
G	=	0.217837 ( $= g$ )				
L12+L22	=	1.570796 ( $= l_1^2 + l_2^2$ )				
LC	=	0.261799 ( $= lC$ )				
CL	=	1.832596 ( $= Cl$ )				

表 2.82 ⑪の点に対応する単位平面線形の照査

THETA = 60°0'			K1 = 0.500 (= 1/2)		K2 = 0.500 (= 1/2)	
L1**2	=	1.047198 ( $= l_1^2$ )	L2**2	=	1.047198 ( $= l_2^2$ )	
L1	=	1.023327 ( $= l_1$ )	L2	=	1.023327 ( $= l_2$ )	
G1	=	0.206948 ( $= g_1$ )	G2	=	0.206948 ( $= g_2$ )	
D1	=	1.122324 ( $= d_1$ )	D2	=	1.122324 ( $= d_2$ )	
LC1	=	0.000000 ( $= lC_1$ )	LC2	=	0.000000 ( $= lC_2$ )	
CL1	=	2.094395 ( $= Cl_1$ )	CL2	=	2.094395 ( $= Cl_2$ )	
DR1/R1	=	0.045248 ( $= \Delta_1$ )	DR2/R2	=	0.045248 ( $= \Delta_2$ )	
DLT G	=	0.000000 ( $= \Delta g$ )				
DLT D	=	0.000000 ( $= \Delta d$ )				
D1 BAR	=	1.122324 ( $= \overline{d_1}$ )				
D2 BAR	=	1.122324 ( $= \overline{d_2}$ )				
G	=	0.206948 ( $= g$ )				
L12+L22	=	2.094395 ( $= l_1^2 + l_2^2$ )				
LC	=	0.000000 ( $= lC$ )				
CL	=	2.094395 ( $= Cl$ )				

表 2.83 ⑫の点に対応する単位平面線形の照査

THETA = 60°0'			K1 = 0.375 (= 3/8) K2 = 0.625 (= 5/8)		
L1**2	=	0.785398 (= $l_1^2$ )	L2**2	=	1.308997 (= $l_2^2$ )
L1	=	0.886227 (= $l_1$ )	L2	=	1.144114 (= $l_2$ )
G1	=	0.184216 (= $g_1$ )	G2	=	0.235890 (= $g_2$ )
D1	=	0.982797 (= $d_1$ )	D2	=	1.263208 (= $d_2$ )
LC1	=	0.261799 (= $lC_1$ )	LC2	=	-0.261799 (= $lC_2$ )
CL1	=	1.832596 (= $Cl_1$ )	CL2	=	2.356194 (= $Cl_2$ )
DR1/R1	=	0.025561 (= $\Delta_1$ )	DR2/R2	=	0.070312 (= $\Delta_2$ )
DLT G	=	0.051674 (= $\Delta g$ )			
DLT D	=	0.051674 (= $\Delta d$ )			
D1 BAR	=	1.034471 (= $\overline{d_1}$ )			
D2 BAR	=	1.211534 (= $\overline{d_2}$ )			
G	=	0.211055 (= $g$ )			
L12+L22	=	2.094395 (= $l_1^2 + l_2^2$ )			
LC	=	0.000000 (= $lC$ )			
CL	=	2.094395 (= $Cl$ )			

表 2.84 ⑬の点に対応する単位平面線形の照査

THETA = 60°0'			K1 = 0.250 (= 1/4) K2 = 0.750 (= 3/4)		
L1**2	=	0.523599 (= $l_1^2$ )	L2**2	=	1.570796 (= $l_2^2$ )
L1	=	0.723601 (= $l_1$ )	L2	=	1.253314 (= $l_2$ )
G1	=	0.167859 (= $g_1$ )	G2	=	0.270832 (= $g_2$ )
D1	=	0.845132 (= $d_1$ )	D2	=	1.404939 (= $d_2$ )
LC1	=	0.523599 (= $lC_1$ )	LC2	=	-0.523599 (= $lC_2$ )
CL1	=	1.570796 (= $Cl_1$ )	CL2	=	2.617994 (= $Cl_2$ )
DR1/R1	=	0.011395 (= $\Delta_1$ )	DR2/R2	=	0.100573 (= $\Delta_2$ )
DLT G	=	0.102973 (= $\Delta g$ )			
DLT D	=	0.102973 (= $\Delta d$ )			
D1 BAR	=	0.948105 (= $\overline{d_1}$ )			
D2 BAR	=	1.301966 (= $\overline{d_2}$ )			
G	=	0.223330 (= $g$ )			
L12+L22	=	2.094395 (= $l_1^2 + l_2^2$ )			
LC	=	0.000000 (= $lC$ )			
CL	=	2.094395 (= $Cl$ )			

表 2.85 ⑭の点に対応する単位平面線形の照査

THETA = 60°0'			K1 = 0.125 (= 1/8) K2 = 0.875 (= 7/8)		
L1**2	=	0.261799 (= $l_1^2$ )	L2**2	=	1.832596 (= $l_2^2$ )
L1	=	0.511663 (= $l_1$ )	L2	=	1.353734 (= $l_2$ )
G1	=	0.157996 (= $g_1$ )	G2	=	0.311522 (= $g_2$ )
D1	=	0.709823 (= $d_1$ )	D2	=	1.547005 (= $d_2$ )
LC1	=	0.785398 (= $lC_1$ )	LC2	=	-0.785398 (= $lC_2$ )
CL1	=	1.308997 (= $Cl_1$ )	CL2	=	2.879793 (= $Cl_2$ )
DR1/R1	=	0.002854 (= $\Delta_1$ )	DR2/R2	=	0.135812 (= $\Delta_2$ )
DLT G	=	0.153526 (= $\Delta g$ )			
DLT D	=	0.153526 (= $\Delta d$ )			
D1 BAR	=	0.863349 (= $\overline{d_1}$ )			
D2 BAR	=	1.393479 (= $\overline{d_2}$ )			
G	=	0.243637 (= $g$ )			
L12+L22	=	2.094395 (= $l_1^2 + l_2^2$ )			
LC	=	0.000000 (= $lC$ )			
CL	=	2.094395 (= $Cl$ )			

表 2.86 ⑮の点に対応する単位平面線形の照査

THETA = 60°0'			K1 = 0.000 K2 = 1.000		
L1**2	=	0.000000 (= $l_1^2$ )	L2**2	=	2.094395 (= $l_2^2$ )
L1	=	0.000000 (= $l_1$ )	L2	=	1.447203 (= $l_2$ )
G1	=	0.154701 (= $g_1$ )	G2	=	0.357670 (= $g_2$ )
D1	=	0.577350 (= $d_1$ )	D2	=	1.688898 (= $d_2$ )
LC1	=	1.047198 (= $lC_1$ )	LC2	=	-1.047198 (= $lC_2$ )
CL1	=	1.047198 (= $Cl_1$ )	CL2	=	3.141593 (= $Cl_2$ )
DR1/R1	=	0.000000 (= $\Delta_1$ )	DR2/R2	=	0.175776 (= $\Delta_2$ )
DLT G	=	0.202969 (= $\Delta g$ )			
DLT D	=	0.202969 (= $\Delta d$ )			
D1 BAR	=	0.780319 (= $\overline{d_1}$ )			
D2 BAR	=	1.485929 (= $\overline{d_2}$ )			
G	=	0.271755 (= $g$ )			
L12+L22	=	2.094395 (= $l_1^2 + l_2^2$ )			
LC	=	0.000000 (= $lC$ )			
CL	=	2.094395 (= $Cl$ )			

## 2.7 補助測線

一般に,  $(C)$ ,  $(K)$ ,  $(C-K)$  は, 2つの測線に対応する平面線形である. しかし, 道路交角  $\theta$  が  $180^\circ$  に近づくと, これらの平面線形の 外線長  $G$  と接線長  $D$  は急激に大きくなる. そして,  $\theta \geq 180^\circ$  では, 無限大となる. したがって, 一般に, 道路交角  $\theta$  が  $\theta > 120^\circ \sim 140^\circ$  のときは補助測線を用いるとよい.

### 2.7.1 単曲線

長さ  $H$  の補助測線および補助測線と  $\theta_1, \theta_2$  で交わる2つの測線に対応する単曲線  $(C)$  は, 次に示す性質を用いて単曲線表から求めることができる (図 2.28 参照).

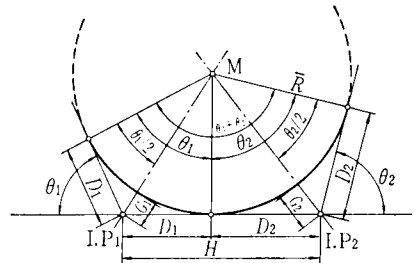


図 2.28 補助測線と  $(C)$

#### (1) 性質

イ) 単曲線の中心  $M$ : 3つの測線に対応する半径

$\bar{R}$  の単曲線の中心  $M$  は,  $I.P_1, I.P_2$  における2つの道路交角の二等分線の交点である.

ロ) 半径  $\bar{R}$ : 単曲線の半径  $\bar{R}$  は, 式  $\bar{R} = H/(\bar{d}_1 + \bar{d}_2)$  から得られる. ただし,  $\bar{d}_1, \bar{d}_2$  は, それぞれ, 道路交角を  $\theta_1, \theta_2$  とする  $(UR, C)$  の接線長である.

ハ) 単曲線長  $LC$ :  $LC$  は, 式  $LC = \bar{R}(lC_1 + lC_2)$  から得られる. ただし,  $lC_1, lC_2$  は, それぞれ, 道路交角を  $\theta_1, \theta_2$  とする  $(UR, C)$  の曲線長である.

#### (2) 計算法

イ)  $\theta_1, \theta_2$  を用いて単曲線表から  $(UR, C)$  を求める.

ロ) 式  $\bar{R} = H/(\bar{d}_1 + \bar{d}_2)$  から  $\bar{R}$  を求める.

ハ) 式  $(C) = \bar{R}(UR, C)$  から  $(C)$  を求める.

表 2.87  $(C)$  の計算法

諸要素	$(UR, C)$			$(C)$		
道路交角	$\theta_1 = 61^\circ 28' 00''$	$\theta_2 = 76^\circ 36' 00''$	$\theta_1 + \theta_2 = 138^\circ 04' 00''$	$\theta_1 = 61^\circ 28' 00''$	$\theta_2 = 76^\circ 36' 00''$	$\theta_1 + \theta_2 = 138^\circ 04' 00''$
外線長, 半径	$\bar{d}_1 = 0.163392$	$\bar{d}_2 = 0.274248$	$\bar{d}_1 + \bar{d}_2 = 1.000000$	$G_1 = 8.298$	$G_2 = 13.928$	$\bar{R} = 50.787$
接線長	$\bar{d}_1 = 0.594544$	$\bar{d}_2 = 0.789752$	$\bar{d}_1 + \bar{d}_2 = 1.384296$	$D_1 = 30.195$	$D_2 = 40.109$	$H = 70.304$
単曲線長	$lC_1 = 1.072796$	$lC_2 = 1.336922$	$lC = 2.409718$	$LC_1 = 54.484$	$LC_2 = 67.898$	$LC = 122.382$

注)  $\bar{R} = H/(\bar{d}_1 + \bar{d}_2) = 50.786826$  である.

#### (3) 計算例

$\theta_1 = 61^\circ 28' 00''$ ,  $\theta_2 = 76^\circ 36' 00''$ ,  $H = 70.304$  m を与えて  $(C)$  を求めよう.

〔解〕 計算の結果を示すと, 表 2.87 のようである.

## 2.7.2 凸形クロソイド

3つの測線に対応する凸形クロソイド(K)は、次に示す性質を用いて、単曲線表と数表2から得られる(図2.29参照)。

## (1) 性質

イ) 半径  $R$  の円の中心  $M$ : (K) における半径  $R$  の円の中心  $M$  は, I. P<sub>1</sub>, I. P<sub>2</sub> における2つの道路夾角の二等分線の交点である。

ロ) 接線角  $\tau$ : (K) の接線角  $\tau$  は, 式  $\tau = (\theta_1 + \theta_2)/2$  から得られる。

ハ) 半径  $R$ :  $R$  は, 式  $R = \bar{R}/(1 + \Delta r/r)$  から得られる。

ニ) クロソイド長  $L$ : (K) のクロソイド長  $L$  は, 式  $L = R \cdot l^2 = R(IC_1 + IC_2)$  から得られる。

ホ) クロソイドの終点の座標: 点  $M$  をとおり, 補助測線に直交する直線を  $Y$  軸, そして, 補助測線を  $X$  軸とする  $XY$  座標を設定すると, クロソイドの終点の座標  $(X, Y)$  は, 式  $X = R \sin \alpha$ ,  $Y = \bar{R} - R \cos \alpha$  から得られる。ただし,  $\alpha = \tau - \theta_1$  である。

## (2) 計算法

イ) 3つの測線に対応する単曲線(C)を単曲線表から求める。

ロ) 式  $\tau = (\theta_1 + \theta_2)/2$  から得られる  $\tau$  を用いて, 数表2から  $(UR, \bar{K})$  を求める。

ハ) 式  $(\bar{K}) = R(UR, \bar{K})$  から,  $(\bar{K})$  を求める。ただし,  $R = \bar{R}/(1 + \Delta r/r)$  である。

ニ) (K) の諸要素を求める。

## (3) 計算例

$\theta_1 = 61^\circ 28' 00''$ ,  $\theta_2 = 76^\circ 36' 00''$ ,  $H = 70.304$  m を与えて (K) を求めよう。

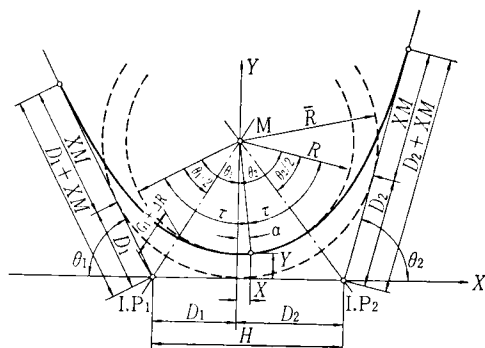


図 2.29 補助測線と (K)

図 2.88 (K) の 計 算 表

諸要素	(UR, C)			(C)		
道 路 交 角	$\theta_1=61^{\circ}28'00''$	$\theta_2=76^{\circ}36'00''$	$\theta_1+\theta_2=138^{\circ}04'00''$	$\theta_1=61^{\circ}28'00''$	$\theta_2=76^{\circ}36'00''$	$\theta_1+\theta_2=138^{\circ}04'00''$
外 線 長, 半 径	$\overline{g}_1=0.163392$	$\overline{g}_2=0.274248$	$\overline{r}=1.000000$	$G_1=8.298$	$G_2=13.928$	$\overline{R}=50.787$
接 線 長	$\overline{d}_1=0.594544$	$\overline{d}_2=0.789752$	$\overline{d}_1+\overline{d}_2=1.384296$	$D_1=30.195$	$D_2=40.109$	$H=70.304$

諸要素	(UR, $\overline{K}$ )	( $\overline{K}$ )	(K)	
接 線 角	$\tau=69^{\circ}02'00''$		$\alpha=7^{\circ}34'00''$	
パ ラ メ ー タ ー	$l=1.552327$	$A=64.107$	$G_1+\Delta R=17.787$	$X=5.438$
ク ロ ソ イ ド 長	$l^2=2.409718$	$L=99.515$	$G_2+\Delta R=23.417$	$Y=9.849$
移 程 量	$\Delta r/r=0.229783$	$\Delta R=9.489$	$D_1+XM=77.640$	$CL=199.030$
点MのX座標	$l \cdot xM=1.148852$	$XM=47.445$	$D_2+XM=87.554$	$R=41.297$

注1)  $\bar{R} = H/(\bar{d}_1 + \bar{d}_2) = 50.786826$  である。

2)  $R = \bar{R}/(1 + \Delta r/r) = 41.297388$  である。

【解】 計算の結果を示すと、表 2.88 のようである。

### 2.7.3 円-クロソイド

3つの測線に対応する円-クロソイド( $C-K$ )は、次に示す性質を用いて、単曲線表と数表2から得られる(図 2.30 参照)。

#### (1) 性質

イ) 半径  $R$  の円の中心: ( $C-K$ ) における半径  $R$  の円の中心  $M$  は、 $I.P_1$ ,  $I.P_2$  における2つの道路夾角の二等分線の交点である。

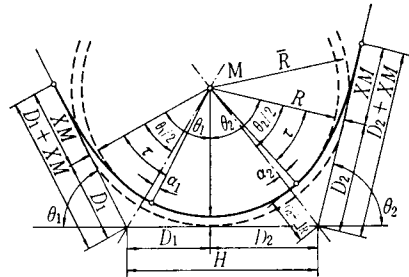


図 2.30 補助測線と ( $C-K$ )

ロ) 半径  $R$ :  $R$  は、式  $R=\bar{R}/(1+\Delta r/r)$  から得られる。

ハ) 単曲線長  $LC$ :  $LC$  は、式  $LC=R(\theta-l^2)$  から得られる。

ニ) 曲線長  $CL$ :  $CL$  は、式  $CL=LC+2L=R(\theta+l^2)$  から得られる。

#### (2) 計算法

イ) 3つの測線に対応する単曲線( $C$ )を単曲線表から求める。

ロ) 接線角  $\tau$  を用いて数表2から ( $UR$ ,  $\bar{K}$ ) を求める。

ハ) 式  $(\bar{K})=R(UR, \bar{K})$  から、 $(\bar{K})$  を求める。ただし、 $R=\bar{R}/(1+\Delta r/r)$  である。

ニ) ( $C-K$ ) の諸要素を求める。

#### (3) 計算例

$\theta_1=61^\circ 28' 00''$ ,  $\theta_2=76^\circ 36' 00''$ ,  $H=70.304$  m,  $\tau=34^\circ 32' 17''$  ( $\tau=(\theta_1+\theta_2)/4$ ) を与えて ( $C-K$ ) を求めよう。

【解】 計算の結果を示すと、表 2.89 のようである。

表 2.89 ( $C-K$ ) の 計 算 表

諸要素	(UR, C)			(C)		
	$\theta_1=61^{\circ}28'00''$	$\theta_2=76^{\circ}36'00''$	$\theta_1+\theta_2=138^{\circ}04'00''$	$\theta_1=61^{\circ}28'00''$	$\theta_2=76^{\circ}36'00''$	$\theta_1+\theta_2=138^{\circ}04'00''$
道 路 交 角	$\overline{\theta}_1=0.163392$	$\overline{\theta}_2=0.274248$	$\overline{r}=1.000000$	$G_1=8.298$	$G_2=13.928$	$\overline{R}=50.787$
外 線 長, 半 径	$\overline{d}_1=0.594544$	$\overline{d}_2=0.789752$	$\overline{d}_1+\overline{d}_2=1.384296$	$D_1=30.195$	$D_2=40.109$	$H=70.304$
接 線 長						

諸要素	(UR, $\overline{K}$ )	( $\overline{K}$ )	(C-K)	
	$\tau=34^{\circ}32'17''$		$\alpha_1=3^{\circ}48'17''$	$\alpha_2=3^{\circ}45'43''$
接 線 角				
パラメーター	$l=1.098000$	$A=52.618$	$G_1+\Delta R=11.163$	$LC=R(\theta-l^2)$
クロソイド長	$l^2=1.205604$	$L=57.775$	$G_2+\Delta R=16.793$	$=57.703$
移 程 量	$\Delta r/r=0.059782$	$\Delta R=2.865$	$D_1+XM=58.736$	$CL=173.253$
点MのX座標	$l \cdot xM=0.595574$	$XM=28.541$	$D_2+XM=68.650$	$R=47.922$

注1)  $\bar{R}=H/(\bar{d}_1+\bar{d}_2)=50.786826$  である。

2)  $R=\bar{R}/(1+\Delta r/r)=47.921956$  である。

## 2.8 望ましい平面線形の選定

2.1～2.7において、自動車が任意の角度 $\theta$ だけ方向転換をするときの走行軌跡( $\bar{Y}$ )について述べた(図2.20参照). これらのうちから道路路線の形状として望ましいであろうと考えられる平面線形を選定しよう.

### 2.8.1 対 称 形

対称形の平面形( $C=K$ )において、単曲線長のクロソイド長に対する比率 $LC/L$ は式 $LC/L=[(\theta/\tau)-2]/2$ で示されている(表2.24参照). 一般に、 $LC/L$ の値が2.0( $\tau/\theta=1/6$ )より大きくなると交通事故は多くなる. そして、 $LC/L=1.0$ ( $\tau/\theta=1/4$ )とする( $C=K$ )は自動車の走行上最も快適な平面線形であるといわれている<sup>3)</sup>.

### 2.8.2 非 対 称 形

従来、非対称型( $C=K$ )に関連して、望ましい平面線形とは何かについては、言及されていない. 対称形の平面線形において、最も望ましいとされている平面線形は、接線角 $\tau$ を $\tau=\theta/4$ ( $LC/L=1$ )とする( $C=K$ )であるとされていることから、非対称形の( $C=K$ )において、望ましいといえる平面線形は、2つの接線角 $\tau_1, \tau_2$ を $\tau_1/\theta=(1/4)-(1/n)$ ,  $\tau_2/\theta=(1/4)+(1/n)$ とする( $C=K$ )であろうと思われる. このような( $C=K$ )では、( $C=K$ )を構成する3つの曲線長の比率 $L_1:LC:L_2$ は、 $(n-4):n:(n+4)$ となり、3つの曲線長は等差級数となる. また、一般に許容される非対称形の平面線形の範囲は、対称形では $\tau=\theta/6$ がその限界とされていることから、 $\tau_1/\theta=1/6$ ,  $\tau_2/\theta=2/6$ すなわち、 $L_1:LC:L_2=1.0:1.5:2.0$ とする( $C=K$ )であろうと思われる(表2.45参照).

以上要するに、対称形、非対称形を問わず、最も望ましい平面線形は、2つの接線角 $\tau_1, \tau_2$ を $\tau_1/\theta=\tau_2/\theta=1/4$ とする( $C=K$ )であり、許容される範囲は、対称形では $1/6 \leq \tau/\theta \leq 1/2$ ( $L_1:LC:L_2=1:2:1 \sim 1:0:1$ ), 非対称形では $1/6 \leq \tau_1/\theta \leq 1/4$ ,  $2/6 \leq \tau_2/\theta \leq 1/4$ ( $L_1:LC:L_2=1.0:1.5:2.0 \sim 1:1:1$ ), そして、これらの許容される範囲のうち、 $\tau_1/\theta=\tau_2/\theta=1/4$ に近い( $C=K$ )ほど、望ましい平面線形であるといえよう.

## 2.9 従来の方法

2.1～2.8では、従来の文献を参考として、従来の方法および著者が新しく開発した方法を示した. ここでは、以上で述べた( $\bar{Y}$ )の解析、すなわち、自動車が任意の角度 $\theta$ だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡の解析に対して、従来どの程度のアプローチがなされているかについて述べよう.

### 2.9.1 単曲線( $C$ )の解法

従来の方法は、2.1に示した方法と同じである.

### 2.9.2 円-クロソイド( $C=K$ )の解法



文献2) に示されている (C-K) の解法を示そう (図 2.31 参照)。

### (1) 計 算 法

$\theta, R, A$  を与えて (C-K) を求める計算法は、次のようである。

- イ)  $A, R$  を用いて A 表から  $L, \tau, \Delta R, XM$  を求める。
- ロ) 式  $T_c = (R + \Delta R) \tan \theta / 2 + XM$  を用いて外線長  $T_c$  を求める。
- ハ) 式  $N_c = (R + \Delta R) / \cos(\theta / 2) - R$  を用いて外線長  $N_c$  を求める。
- ニ) 式  $L_c = R \cdot \pi \cdot \alpha / 180^\circ$  を用いて単曲線長  $L_c$  を求める。ここに、 $\alpha = \theta - 2\tau$  である。
- ホ) 式  $CL = L_c + 2L$  を用いて曲線長  $CL$  を求める。

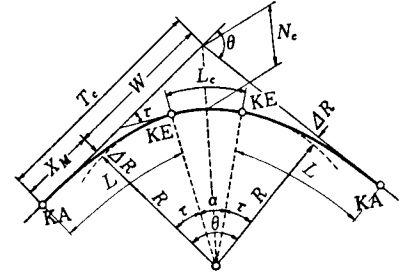


図 2.31 (C-K) の解法

### (2) 計 算 例

$\theta = 30^\circ, A = 100 \text{ m}, R = 200 \text{ m}$  を与えて (C-K) を求めよう。

〔解〕

- イ)  $A = 100, R = 200$  を用いて、A 表から  $L = 50, \tau = 7^\circ 09' 43'', \Delta R = 0.521, XM = 24.987$  が得られる。
- ロ)  $T_c = (R + \Delta R) \tan(\theta / 2) + XM = (200 + 0.521) \times 0.26795 + 24.987 = 78.716$  である。
- ハ)  $N_c = (R + \Delta R) / \cos(\theta / 2) - R = (200 + 0.521) / 0.96593 - 200 = 7.595$  である。
- ニ)  $\alpha = \theta - 2\tau = 30^\circ - 2 \times 7^\circ 09' 43''$  であるから、 $L_c = R \cdot \pi \cdot \alpha / 180^\circ = 200 \times 3.1416 \times 15.676 / 180 = 54.720$  となる。
- ホ)  $L = A^2 / R = 10,000 / 200 = 50$  であるから、 $CL = L_c + 2L = 54.720 + 2 \times 50 = 154.720$  となる。

### 2.9.3 非対称円一クロソイド (C=K) の解法

文献2) に示されている (C=K) の解法を示そう (図 2.32 参照)。

### (1) 計 算 法

$\theta, R, A_1, A_2$  を与えて (C=K) を求める計算法は、次のようである。

- イ)  $A_1, R$  を用いて A 表から  $L_1, \tau_1, \Delta R_1, XM_1$  を求める。そして、 $A_2, R$  を用いて、 $L_2, \tau_2, \Delta R_2, XM_2$  を求める。
- ロ) 式  $T_{c1} = XM_1 + (R + \Delta R_2) \tan(\theta / 2) - (\Delta R_1 - \Delta R_2) \cot \theta, T_{c2} = XM_2 + (R + \Delta R_2) \tan(\theta / 2) + (\Delta R_1 - \Delta R_2) / \sin \theta$  から、接線

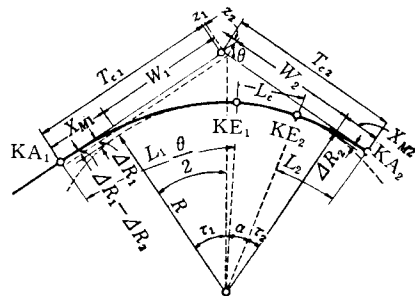


図 2.32 (C=K) の解法

長  $T_{c1}$ ,  $T_{c2}$  を求める.

ハ) 式  $L_c = R \cdot \pi \cdot \alpha^\circ / 180^\circ$  を用いて, 単曲線長  $L_c$  を求める. ここに,  $\alpha = \theta - (\tau_1 + \tau_2)$  である.

ニ) 式  $CL = L_1 + L_c + L_2$  を用いて, 曲線長  $CL$  を求める.

## (2) 計算例

$\theta = 85^\circ 19' 36''$ ,  $R = 80 \text{ m}$ ,  $A_1 = 80 \text{ m}$ ,  $A_2 = 75 \text{ m}$  を与えて ( $C=K$ ) を求めよう.

[ 解 ]

イ)  $A_1 = 80$ ,  $R = 80$  を用いて, A表から  $L_1 = 80$ ,  $\tau_1 = 28^\circ 38' 52''$ ,  $\Delta R_1 = 3.304$ ,  $XM_1 = 39.669$ , そして,  $A_2 = 75$ ,  $R = 80$  を用いて,  $L_2 = 70.313$ ,  $\tau_2 = 25^\circ 10' 44''$ ,  $\Delta R_2 = 2.557$ ,  $XM_2 = 34.931$  が得られる.

$$\begin{aligned} \text{ロ) } T_{c1} &= XM_1 + (R + \Delta R_2) \tan(\theta/2) - (\Delta R_1 - \Delta R_2) \cot \theta \\ &= 39.669 + (80 + 2.557) \times 0.92159 - (3.304 - 2.557) \times 0.81746 \\ &= 115.692 \text{ として,} \\ T_{c2} &= XM_2 + (R + \Delta R_2) \tan(\theta/2) + (\Delta R_1 - \Delta R_2) \sin \theta \\ &= 34.931 + (80 + 2.557) \times 0.92159 + (3.304 - 2.557) / 0.996675 \\ &= 111.764 \text{ である.} \end{aligned}$$

ハ)  $\alpha = \theta - (\tau_1 + \tau_2) = 85^\circ 19' 36'' - (28^\circ 38' 52'' + 25^\circ 10' 44'') = 31^\circ 30' 00''$  であるから,  $L_c = R \cdot \pi \cdot \alpha / 180 = 80 \times 3.1416 \times 31.5 / 180 = 43.982$  となる.

ニ)  $CL = L_1 + L_c + L_2 = 80 + 43.982 + 70.313 = 194.295$  である.

## 2.9.4 凸形クロソイド (K) の解法

文献2) に示されている (K) の解法を示そう (図 2.33 参照).

### (1) 計算法

$\theta$ ,  $R$  を与えて (K) を求める計算法は, 次のようである.

- イ) 式  $\tau = \theta/2$  から  $\tau$  を求める.
- ロ)  $\tau$  を用いて, 単位クロソイド表から, ( $UA, K$ ) の諸要素  $r, l, \Delta r, d$  を求める.
- ハ) 式  $(K) = A(UA, K)$  から (K) を求める. ここに,  $A = R/r$  である.

### (2) 計算例

$\theta = 36^\circ 40' 10''$ ,  $R = 125 \text{ m}$  を与えて, (K) を求めよう.

[ 解 ]

イ)  $\tau = \theta/2 = 36^\circ 40' 10'' / 2 = 18^\circ 20' 05''$  である.

ロ)  $\tau = 18^\circ 20' 05''$  を用いて, 単位クロソイド表から,  $r = 1.250000$ ,  $l = 0.800000$ ,  $\Delta r =$

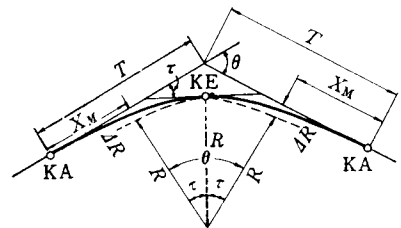


図 2.33 (K) の解法

0.021255,  $d=0.819919$  が得られる.

ハ)  $A=R/r=125/1.250000=100$  であるから式  $(K)=A$  ( $UA, K$ ) から  $(K)$  を求めると,  
 $L=80, \Delta R=2.126, D=81.992$  となる.

### 2.9.5 非対称凸形クロソイド ( $K-\bar{K}$ ) の計算法

文献2) に示されている  $(K-\bar{K})$  の計算法を示そう (図 2.34 参照).

$\theta, R, A_1$  を与えて  $(K-\bar{K})$  を求める計算法は, 次のようである.

イ) 式  $\tau_1=(A_1/R)^2/2$  から  $\tau_1$  を求める.

ロ) 式  $\tau_2=\theta-\tau_1$  から  $\tau_2$  を求める.

ハ)  $\tau_1$  を用いて, 単位クロソイド表から,  $l_1, r_1, tK_1, tL_1$  を求める.

ニ)  $\tau_2$  を用いて, 単位クロソイド表から,  $l_2, r_2, tK_2, tL_2$  を求める.

ホ)  $l_1, r_1, tK_1, tL_1$  を  $A_1$  倍することによって  $L_1, R, TK_1, TL_1$  を求める.

ヘ)  $l_2, r_2, tK_2, tL_2$  を  $A_2$  倍することによって  $L_2, R, TK_2, TL_2$  を求める. ここに,  $A_2=R/r_2$  である.

ト) 式  $\bar{D}_1=TL_1+(TK_1+TK_2)\sin\tau_2/\sin\theta, \bar{D}_2=TL_2+(TK_1+TK_2)\sin\tau_1/\sin\theta$  から  $\bar{D}_1, \bar{D}_2$  を求める.

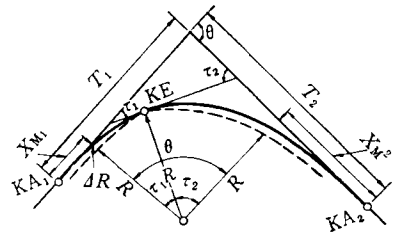


図 2.34  $(K-\bar{K})$  の解法

### 2.9.6 曲線長の制御

2.9.2～2.9.5 に示した  $(C-K), (C=K), (K), (K-\bar{K})$  の解法によると  $(K)$  を除き, 計算結果これらの平面線形を構成する 2～3 つの線形要素の曲線長が与えられることになっている. ここにおいて, 文献4) の pp. 52～55 には, 次のような解法が示されており,  $(C=K)$  を構成する 2～3 つの線形要素の曲線長は制御できることとなっている.

イ)  $L_1:LC:L_2=1:a:b$  として  $(C=K)$  を求める解法.

ロ)  $L:LC:L=1:a:1$  として  $(C-K)$  を求める解法.

ハ)  $L:LC:L=1:1:1$  として  $(C-K)$  を求める解法.

ニ)  $L_1:L_2=1:b$  として  $(K-\bar{K})$  を求める解法.

なお, 表 2.43 は, これらの解法のために必要とする公式を示している. 表 2.43 は文献4) を参考として作成したものである.

### 2.9.7 $(C-K)$ の性質

文献5) の p. 46 には, 曲率半径を一定とするとき  $(C-K)$  の性質が, 表 2.90 のように示されている. 数表 1 は, この性質を参考として作成したものである.

表 2.90 (C-K) の性質

線形 諸要素	単曲線 (C)	円-クロソイド (C-K)			凸形 (K)
接線角	0	$\theta/6$	$\theta/4$	$\theta/3$	$\theta/2$
曲線長の比率	0:1:0	1:2:1	1:1:1	1:0.5:1	1:0:1
クロソイド長	0	$R\theta/3$	$R\theta/2$	$R\theta/1.5$	$R\theta$
パラメーター	0	$R(\theta/3)^{1/2}$	$R(\theta/2)^{1/2}$	$R(\theta/1.5)^{1/2}$	$R\theta^{1/2}$
曲線長	$R\theta$	$4R\theta/3$	$3R\theta/2$	$5R\theta/3$	$2R\theta$

## 2.10 研究の概要

第2章に示した研究の概要は、次のようである。

イ) 自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡 ( $\bar{Y}$ ) は、半径  $R$  の円が道路交角  $\theta$  で交わる2つの測線との間に作る平面線形 ( $C=K$ ) によって表現できることに着目し、( $\bar{Y}$ ) は7種類に分類できることを示した (図 2.35 参照)。この発想法の基本は図 2.8.1 ~ 2.8.6 を、また、研究の成果は、図 2.20 を参

照されたい。

ロ) 自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡 ( $\bar{Y}$ ) の単位平面線形 ( $UR, \bar{Y}$ ) は、図 2.21 に示した  $\theta, k_1, k_2$  空間の三角柱における点と1対1で対応することおよび三角柱に対応しない走行軌跡は存在しないことを示した。ただし、 $\theta$  は  $0 < \theta < 180^\circ$  である。

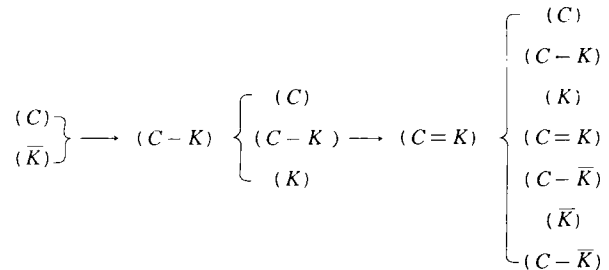


図 2.35 第2章に示した研究の概要図

ハ) 次の性質を持つ公式を示した (2.6.3.4 参照)。

i) 単曲線とクロソイドに共通する公式であること。

ii) 自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡を表現できること。

したがって、図 2.21 に示した三角柱における点 ( $\theta, k_1, k_2$ ) と曲率半径  $R$  をこの公式に代入して、電子計算機に入力すると自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡が得られる。また、数表 1 と 2 を用いると同様の走行軌跡が得られる。

ニ) ( $\bar{Y}$ ) のうちから、道路路線の形状として、望ましいであろうと考えられる走行軌跡を選定して示した (2.8 参照)。

## 2.11 従来の方法との比較

著者が、2.1～2.8に示した方法と従来の方法を比較しよう。

### イ) 単曲線とクロソイドに共通する公式

単曲線 ( $C$ ) とクロソイド ( $\bar{K}$ ) に共通する公式を開発しようとする試みは従来からなされている。文献5) の p. 56 には、直線、クロソイド ( $\bar{K}$ )、単曲線 ( $C$ ) に共通する公式  $a^{n+1} = r \cdot l^n$  が示されている。しかし、この公式は、( $\bar{Y}$ ) における他の5種類の走行軌跡 ( $C-K$ )、( $K$ )、( $C=K$ )、( $K-\bar{K}$ )、( $C-\bar{K}$ ) を表現できない。著者は、この公式のように、曲線自体を表現するのではなく、曲線の諸要素を表現することによって、7種類に分類されている( $\bar{Y}$ ) を表現できる公式を開発して、本論文に示した(2.6.3.4 参照)。2.6.3.4に示した公式は、道路構造令に定められた諸要素に直ちに対応できる。

### ロ) ( $\bar{Y}$ ) の掌握

文献2) の方法によると、( $C-K$ )、( $C=K$ )、( $K$ )、( $K-\bar{K}$ ) は、それぞれ異なる公式と計算法を用いて求めている(2.9.2～2.9.5 参照)。著者が本論文に提案した方法によると、これら4つの平面線形に、さらに3種類の平面線形( $C$ )、( $\bar{K}$ )、( $C-\bar{K}$ )を加えた7種類の平面線形を同じ公式と計算法によって求めることができる(表2.57～2.68および表2.72～2.86 参照)。著者が提案した方法(図2.17, 2.18, 2.22, 2.23 参照)では、曲率半径  $R$  の中心点  $M$  をとおり、道路夾角の二等分線に平行な直線(基準線)によって、2つに分割された( $C=K$ )は、2つの( $C-K$ )から成立する[( $C=K$ ) = ( $C-K$ )<sub>1</sub> / 2 + ( $C-K$ )<sub>2</sub> / 2] という性質を用いて、( $C=K$ ) の計算法を簡素化するとともに、( $\bar{Y}$ ) に共通する公式を導いた。したがって、( $C=K$ ) の性質(表2.43～2.44および図2.20, 2.21)を参照すると、比較的容易に( $\bar{Y}$ ) の全体を掌握できる。従来の方法では困難である。

### ハ) 望ましい道路路線の形状の選定

自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡( $\bar{Y}$ )を解析し、そして、それらの中から道路路線の形状として望ましいであろうと考えられる走行軌跡を選定する方法は、最も合理的な選定法であるといえよう(2.8 参照)。従来、非対称形に関連して、望ましい平面線形とは何かについては言及されていない。ただし、この選定は、さらに実験的な検討を加える必要があると思われる。

### ニ) 数 表

数表1を用いると、( $C-K$ )を、また、式( $C=K$ ) = ( $C-K$ )<sub>1</sub> / 2 + ( $C-K$ )<sub>2</sub> / 2を用いると( $C=K$ )を求めることができる。数表1の左端に示した単曲線表( $UR$ ,  $C$ )は3つの要素(単曲線長  $\theta$ , 外線長  $\bar{g}$ , 接線長  $\bar{d}$ )を示している。これと同様に、円-クロソイド( $UR$ ,  $C-K$ )の欄にも3つの要素(移程量  $\Delta r/r$ , 外線長  $g$ , 接線長  $d$ )を示している。( $C-K$ )または( $C=K$ )の計算において、道路構造令に定められた諸要素パラメーター  $A$ , クロソイド長  $L$ , 単曲線長  $LC$ , 曲線長  $CL$ は、それぞれ単曲線表の単曲線長  $\theta$ を用いた係数処理(表2.29 参照)で得られることとなっており、計算の過程では、全く公式を用いる必要はない。この計算法は、( $C-K$ )をほとんど単曲線なみに簡素化した計算法

であるといえよう。

数表 1 は、現在単曲線長のクロソイド長に対する比率  $LC/L$  を、0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 および  $\infty$  ( $UR, C$ ) とする 6 種の ( $UR, C-K$ ) を表示して一般に市販している。しかし、さらに比率  $LC/L$  のピッチを 0.1 程度とすると、さらに説得力のある数表となると思われる。従来、数表 1 のような数表は発表されていない (2.5.8 参照)。

ホ) 計算条件とその解法を、( $C$ ) については 22 ケース (表 2.4 参照), ( $C-K$ ) については 20 ケース (表 2.36, 2.37 参照), ( $C=K$ ) については 57 ケース (表 2.51, 2.53 参照) 示した。従来、計算条件とその解法が示されているのは、それぞれ平面線形について、1 ケース程度である。

ヘ) ヘアピンカーブ

道路交角  $\theta$  が  $180^\circ$  を越え、一般  $\theta > 120^\circ \sim 140^\circ$  の場合に対応できる ( $C$ ), ( $K$ ), ( $C-K$ ) の解法を示した (2.7 参照)。この解法はヘアピンカーブに用いることができる。

## 2.12 結 語

本章は、本論文において基本となる研究、すなわち、自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡の解析とそれらのうちから道路路線として望ましい形状の選定法について述べた。概要は、次のようである。

イ) 自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡を表現できる公式を提案した。この公式と所定の計算条件 (角度  $\theta$ , 2つの係数  $k_1, k_2$  と曲率半径  $R$ ) を電子計算機に入力すると、自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡が得られる。これらの走行軌跡のなかには、道路路線の形状をきめる 2つの線形要素 (単曲線とクロソイド) も含まれている。

ロ) 自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡は、二等辺直角三角柱上の点に対応すること。二等辺直角三角柱上の点に対応しない走行軌跡は存在しないことおよびそれらの走行軌跡の単位平面線形は二等辺直角三角柱上の点と 1 対 1 の対応を示した。

以上は、本論文に示した研究の基本である。このような基本的研究によって始めて、自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡が掌握できるといえよう。このような基本的な研究は、この種の研究において、さけることのできない最も基本的な課題であるにもかかわらず、従来相当のアプローチはなされていたとはいえ、これらの走行軌跡の全体を掌握するに至っていない。

本章では、すべての走行軌跡を掌握し、そして、それらのうちから道路路線として望ましい形状の走行軌跡を選定した。すなわち、自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡は、道路夾角の中心線に対して対称形と非対称形の 2つに分類することができる。対称形の選定法は従来から確立しており、これをそのまま述べた。しかし、非対称形の選定法は確立していない、したがって、本章において、新しい選定法 (3つの曲線長を等差級数とする方法) を提案した。この選定法は、従来の対称形における選定法における選定法とよくなじむ選定法である。

自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡は、1～3つの線形要素 (単曲

線とクロソイド)から成立している。本章に示した公式を用いると、2～3つの線形要素の曲線長を任意の比率に制御できる。任意の比率に制御できることは、2～3つの線形要素から成立する道路路線の形状に関するかぎり、この種の研究における現在の課題に対する回答となる。しかし、これは、文献4)を参考としたものであり、著者が開発したものではない。

以上は、本章に示した研究の概要である。第3～第5章の研究は、本章の応用(その1～その3)である。

#### 参 考 文 献

- 1) 末松, 多田, 新版曲線設置法, 山海堂, 1980
- 2) 星埜, クロソイドポケットブック改訂版, 丸善, 1977
- 3) 住友, 遠藤, 道路設計の基本, 地人書館, 1972, p. 80.
- 4) Kasper, Schürba, Lorenz, Die Klotoide als Trassierungselement, Ferd. Dümmlers Verlag, 1968, pp. 52～55.
- 5) Lorenz, Trassierung und Gestaltung von Straßen und Autobahnen, Bauverlag, 1970, p. 46, p. 56.
- 6) 岡崎, 道路中心線の設計法, 山海堂, 1979

## 第3章 異方向に2回曲る道路路線 の形状に関する研究

本章は自動車が続して異方向に2回 $\theta_1, \theta_2$ だけ方向転換をするときの走行軌跡に対応する平面線形について述べたものである。

### 3.1 概 説

第2章に示した7種類の平面線形 $(C), (K), (C-K), (K-\bar{K}), (\bar{K}), (C-\bar{K}), (C=K)$ は、2つの測線に対応する平面線形である。ここでは、S形に設置された3つの測線（図3.1参照）に対応し、2つの平面線形 $(Y)_1, (Y)_2$ から構成されるS形の平面線形（以下S形と呼ぶ）について述べよう。

表3.1 49種類のS形

番号	イ	ロ	(S)	( $\bar{S}$ )	A	B	C
1	$(C)_1 + (C)_2$		3	4	2	0	2
②	$(K)_1 + (K)_2$		3	4	0	4	4
3	$(\bar{K})_1 + (\bar{K})_2$		3	4	0	2	2
④	$(C-K)_1 + (C-K)_2$		5	6	2	4	6
⑤	$(K-\bar{K})_1 + (K-\bar{K})_2$		5	6	0	4	4
6	$(C-\bar{K})_1 + (C-\bar{K})_2$		5	6	2	2	4
⑦	$(C=K)_1 + (C=K)_2$		7	8	2	4	6
8	$(C)_1 + (K)_2$	$(K)_1 + (C)_2$	3	4	1	2	3
9	$(C)_1 + (\bar{K})_2$	$(\bar{K})_1 + (C)_2$	3	4	1	1	2
10	$(C)_1 + (C-K)_2$	$(C-K)_1 + (C)_2$	4	5	2	2	4
11	$(C)_1 + (K-\bar{K})_2$	$(K-\bar{K})_1 + (C)_2$	4	5	1	2	3
12	$(C)_1 + (C-\bar{K})_2$	$(C-\bar{K})_1 + (C)_2$	4	5	2	1	3
13	$(C)_1 + (C=K)_2$	$(C=K)_1 + (C)_2$	5	6	2	2	4
14	$(K)_1 + (\bar{K})_2$	$(\bar{K})_1 + (K)_2$	3	4	0	3	3
⑮	$(K)_1 + (C-K)_2$	$(C-K)_1 + (K)_2$	4	5	1	4	5
⑯	$(K)_1 + (K-\bar{K})_2$	$(K-\bar{K})_1 + (K)_2$	4	5	0	4	4
17	$(K)_1 + (C-\bar{K})_2$	$(C-\bar{K})_1 + (K)_2$	4	5	1	3	4
⑰	$(K)_1 + (C=K)_2$	$(C=K)_1 + (K)_2$	5	6	1	4	5
19	$(\bar{K})_1 + (C-K)_2$	$(C-K)_1 + (\bar{K})_2$	4	5	1	3	4
20	$(\bar{K})_1 + (K-\bar{K})_2$	$(K-\bar{K})_1 + (\bar{K})_2$	4	5	0	3	3
21	$(\bar{K})_1 + (C-\bar{K})_2$	$(C-\bar{K})_1 + (\bar{K})_2$	4	5	1	2	3
22	$(\bar{K})_1 + (C=K)_2$	$(C=K)_1 + (\bar{K})_2$	5	6	1	3	4
⑳	$(C-K)_1 + (K-\bar{K})_2$	$(K-\bar{K})_1 + (C-K)_2$	5	6	1	4	5
24	$(C-K)_1 + (C-\bar{K})_2$	$(C-\bar{K})_1 + (C-K)_2$	5	6	2	3	5
㉑	$(C-K)_1 + (C=K)_2$	$(C=K)_1 + (C-K)_2$	6	7	2	4	6
26	$(K-\bar{K})_1 + (C-\bar{K})_2$	$(C-\bar{K})_1 + (K-\bar{K})_2$	5	6	1	3	4
㉒	$(K-\bar{K})_1 + (C=K)_2$	$(C=K)_1 + (K-\bar{K})_2$	6	7	1	4	5
28	$(C-\bar{K})_1 + (C=K)_2$	$(C=K)_1 + (C-\bar{K})_2$	6	7	2	3	5



## 3.2 分類

S形を構成する2つの平面線形 $(Y)_1, (Y)_2$ は、それぞれ7種類に分類されている。したがって、S形は、これを構成する平面線形の種類によって、 $49 (= 7 \times 7)$ 種類に分類することができる(表3.1参照)。

表3.1について述べよう。

イ) 49種類の表示：49種類のS形を、1～28の番号の欄と、イ)、ロ)の欄に示した。イ)、ロ)の欄に示した2つのS形は、左右対称となっている。紙面に向かって、左側の平面線形 $(Y)$ には添字1を、右側の平面線形 $(Y)$ には添字2を付している。

ロ) 自動車の走行軌跡との関係：自動車が任意の角度 $\theta$ だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡は、7種類に分類されている。そして、7種類以外には存在しない。したがって、自動車が連続して異方向に2回 $\theta_1, \theta_2$ だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡は49種類に分類することができる。そして、49種類以外には存在しないこととなる。ちなみに文献を参照しながら、これらのS形の種類を紹介しよう。番号は参考文献の番号を示す。

- i) 1)のpp.47～48のS形は、2番である。
- ii) 2)のpp.65～74のS形は、7番である。
- iii) 3)のpp.74～80のS形は、25番のロ)である。
- iv) 3)のpp.295～315のS形は、3番である。
- v) 4)のp.60のS形は、15番のイ)である。
- vi) 4)のp.62のS形は、4番である。

ハ) 自由度： $N=1$ のときの自由度を $(S)$ の欄に、 $N \neq 1$ のときの自由度を $(\bar{S})$ の欄に示す。なお、変数 $N$ は計算法の項を参照されたい。

ニ) 線形要素の数：S形における単曲線の数 $A$ の欄に、クロソイドの数 $B$ の欄に、 $A$ と $B$ の和すなわちS形を構成する線形要素の数を $C$ の欄に示す。

## 3.3 S形の解法

写真1.1に示した方法で得られた道路トラバースから、任意に選んだ3つの測線(図3.1参照)に対して、S形を求める計算法について述べよう(表3.2参照)。

S形を構成する2つの平面線形 $(Y)_1, (Y)_2$ において、接線長について式 $D = \bar{D}_{12} + \bar{D}_{21}$ が、 $(Y)_1, (Y)_2$ から任意に選んだ2つの要素 $X_{m1}, X_{m2}$ について式 $X_{m2} = N \cdot X_{m1}$ が成立する計算法を示すと、次のよう

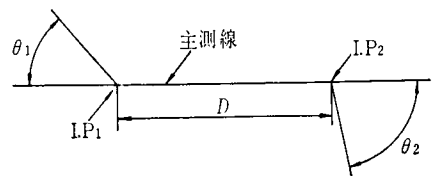


図3.1 S形に設置された3つの測線

表 3.2 S形の計算法と諸要素

線形 諸要素	$(UR, Y)_1$	$(Y)_1$	$(UR, Y)_2$	$(Y)_2$
任意の要素	$x_{m1}$	$X_{m1}$	$x_{m2}$	$X_{m2}$
接線長	$\bar{d}_{12}$	$\bar{D}_{12}$	$\bar{d}_{21}$	$\bar{D}_{21}$
任意の要素/接線長	$k_1 = x_{m1} / \bar{d}_{12}$		$k_2 = x_{m2} / \bar{d}_{21}$	

である。ここに変数 $N$ は、2つの要素 $X_{m1}$ 、 $X_{m2}$ を用いて、2つの平面線形 $(Y)_1$ 、 $(Y)_2$ の、与えられた長さ $D$ の主測線に対する相対的な大きさを決める変数である。 $N=1$ では、式 $X_{m1}=X_{m2}$ が成立する。

### 3.3.1 S形の計算法

S形の計算法は、次のようである。

イ)  $(UR, Y)_1$ 、 $(UR, Y)_2$  を求める。

ロ) 式 $\bar{D}_{12}=D/[1+N(k_1/k_2)]$ 、 $\bar{D}_{21}=D/[1+(1/N)(k_2/k_1)]$ から $\bar{D}_{12}$ 、 $\bar{D}_{21}$  を求める。ここに、 $k_1=x_{m1}/\bar{d}_{12}$ 、 $k_2=x_{m2}/\bar{d}_{21}$ 、そして、 $\bar{D}_{12}$ 、 $\bar{D}_{21}$ は、それぞれ $(Y)_1$ 、 $(Y)_2$ の主測線側の接線長である。

ハ) 式 $R_1=\bar{D}_{12}/\bar{d}_{12}$ 、 $R_2=\bar{D}_{21}/\bar{d}_{21}$ から $R_1$ 、 $R_2$  を求める。

ニ) 式 $(Y)_1=R_1(UR, Y)_1$ 、 $(Y)_2=R_2(UR, Y)_2$ から、 $(Y)_1$ 、 $(Y)_2$  を求める。

本論文では、式 $(Y)=R(UR, Y)$ から $(Y)$ を求めている。したがって、 $(Y)_1$ 、 $(Y)_2$ において式 $R_2=N \cdot R_1$ を成立させようとするときは、上記の計算法のロ)、ハ)は、次のように簡素化することができる。

ロ) 式 $R_1=D/(\bar{d}_{12}+N \cdot \bar{d}_{21})$ 、 $R_2=D/[\bar{d}_{21}+(1/N)\bar{d}_{12}]$ から $R_1$ 、 $R_2$  を求める。

### 3.3.2 S形の計算例

S形 $(C)_1+(C)_2$ の計算例を示そう。

$\theta_1=32^\circ 29' 20''$ 、 $\theta_2=56^\circ 02' 20''$ 、 $D=330.330$ 、3.3  $R_1=LC_2$ を与えてS形 $(C)_1+(C)_2$ を求めよう。

〔解〕

イ)  $(UR, C)_1$ 、 $(UR, C)_2$  を単曲線から拾うと、表 3.3 のようになる。

ロ)  $D_1=D/[1+N(k_1/k_2)]=330.330/[1+3.3(3.432086/1.837963)]$

$=46.121342$       そして、

$D_2=D/[1+(1/N)(k_2/k_1)]=330.330/[(1/3.3)(1.837963/3.432086)]$

$=284.208624$       である。

ハ)  $R_1=D_1/\bar{d}_1=46.121342/0.291368=158.292407$       そして、

$R_2=D_2/\bar{d}_2=284.208624/0.532145=534.081170$       である。

ニ) 式 $(C)_1=R_1(UR, C)_1$ 、式 $(C)_2=R_2(UR, C)_2$ から $(C)_1$ 、 $(C)_2$ を求めると、表 3.3 のようである。

ホ) 照査：式 $D=D_1+D_2$ は、 $330.330=46.121+284.209$ 、式 $LC_2/R_1=3.3$ は、 $522.365/$

表 3.3 S 形  $(C)_1 + (C)_2$  の計算表

線 形 諸 要 素	$(UR, C)_1$	$(C)_1$	$(UR, C)_2$	$(C)_2$
道 路 交 角	$\theta_1 = 32^\circ 29' 20''$		$\theta_2 = 56^\circ 02' 20''$	
外 線 長	$\bar{g}_1 = 0.041583$	$G_1 = 6.582$	$\bar{g}_2 = 0.132775$	$G_2 = 70.913$
曲 率 半 径	$\bar{r} = 1.000000$	$R_1 = 158.292$	$\bar{r} = 1.000000$	$R_2 = 534.081$
接 線 長	$\bar{d}_1 = 0.291368$	$D_1 = 46.121$	$\bar{d}_2 = 0.532145$	$D_2 = 284.209$
曲 線 長	$lC_1 = 0.567038$	$LC_1 = 89.758$	$lC_2 = 0.978063$	$LC_2 = 522.365$
$k$	$k_1 = 1 / \bar{d}_1 = 3.432086$		$k_2 = lC_2 / \bar{d}_2 = 1.837963$	

158.292 = 3.300009, となっており, 計算条件は満足されている. また, 計算例に示した計算条件の数 4 は, 表 3.1 に示した自由度 4  $[(\bar{S})$  の欄参照] と一致している.

### 3.3.3 計算法の適用範囲

S 形の計算法の適用範囲と適用法を示すと, 次のようである.

イ) この計算法は, 49 種類の S 形に適用できる. したがって, 自動車が連続して異方向に 2 回, 任意の角度  $\theta_1, \theta_2$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡を求めることができる. そして, この計算法で求めることができない S 形の走行軌跡は存在しない. ただし,  $0 < \theta_1 < 180^\circ, 0 < \theta_2 < 180^\circ$  である. したがって,  $\theta_1, \theta_2$  のいずれかの一方が  $180^\circ$  以上となる場合の S 形の走行軌跡は, この計算法で求めることはできない.

ロ) この計算法は, 次の 3 つの条件を与えて S 形を求めることができる.

a) 図 2.21 に示した三角柱における 2 つの点

b) 主測線の長さ  $D$  と変数  $N$

c) 変数  $N$  によって制御しようとする 2 つの要素  $X_{m_1}, X_{m_2}$  に対応する  $(UR, Y)$  の 2 つの要素  $x_{m_1}, x_{m_2}$

ハ) 主測線の長さ  $D$  を,  $D - \Delta D$  とすると, 2 つの平面線形  $(Y)_1, (Y)_2$  の間, すなわち主測線の中間に, 距離  $\Delta D$  の直線区間をはさむことになる. この計算法は, 橋梁またはトンネルの取付道の平面線形を求める場合に用いるとよい. また,  $D + \Delta D$  とすると, 2 つの平面線形  $(Y)_1, (Y)_2$  は, 主測線上で距離  $\Delta D$  だけ交差することとなる.( 図 3.2 参照 ).

ニ) この計算法は, C 形に配置された 3 本の測線に対応する 2 つの平面線形  $(Y)_1, (Y)_2$  を求めることもできる ( 図 3.3 参照 ).

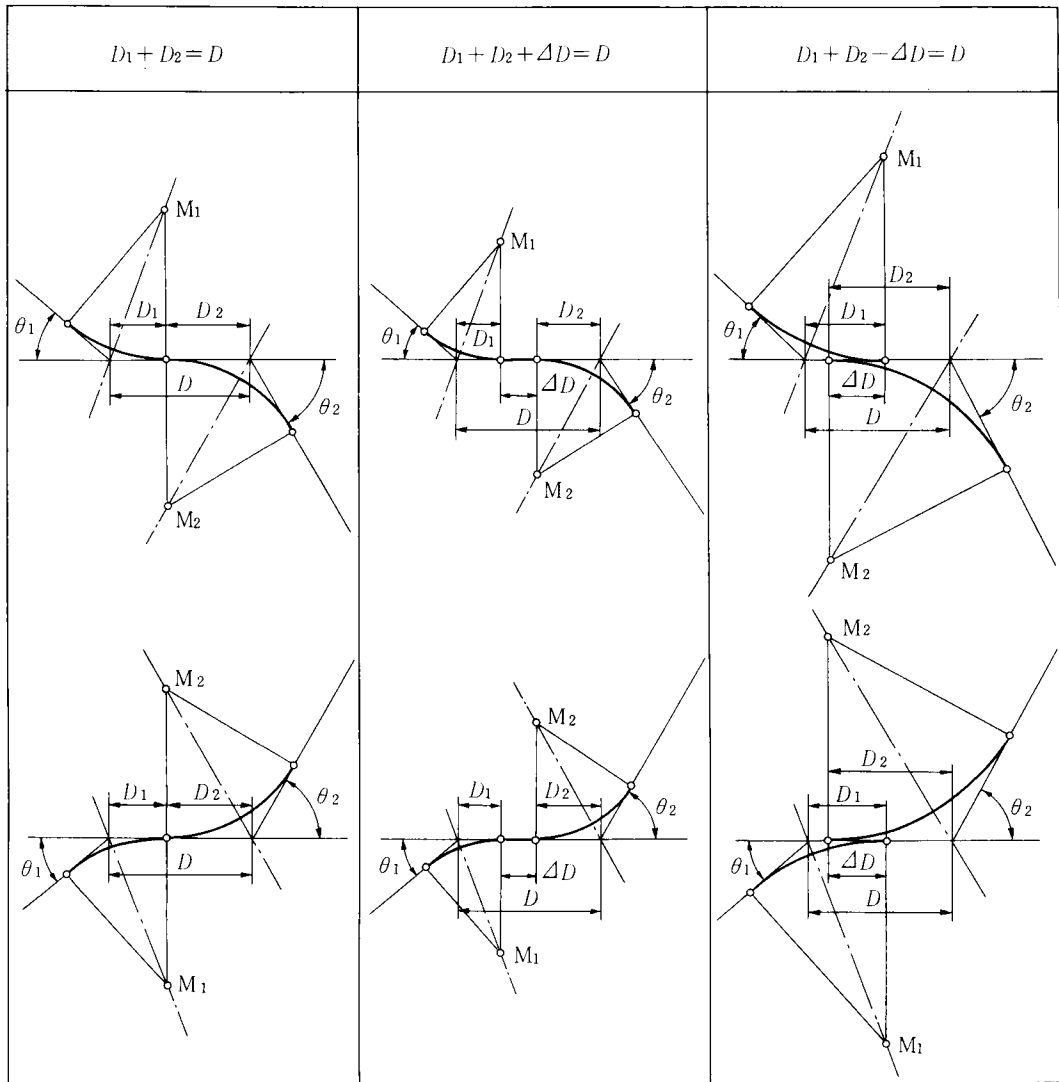


図3.2 3つの測線と6種類のS形

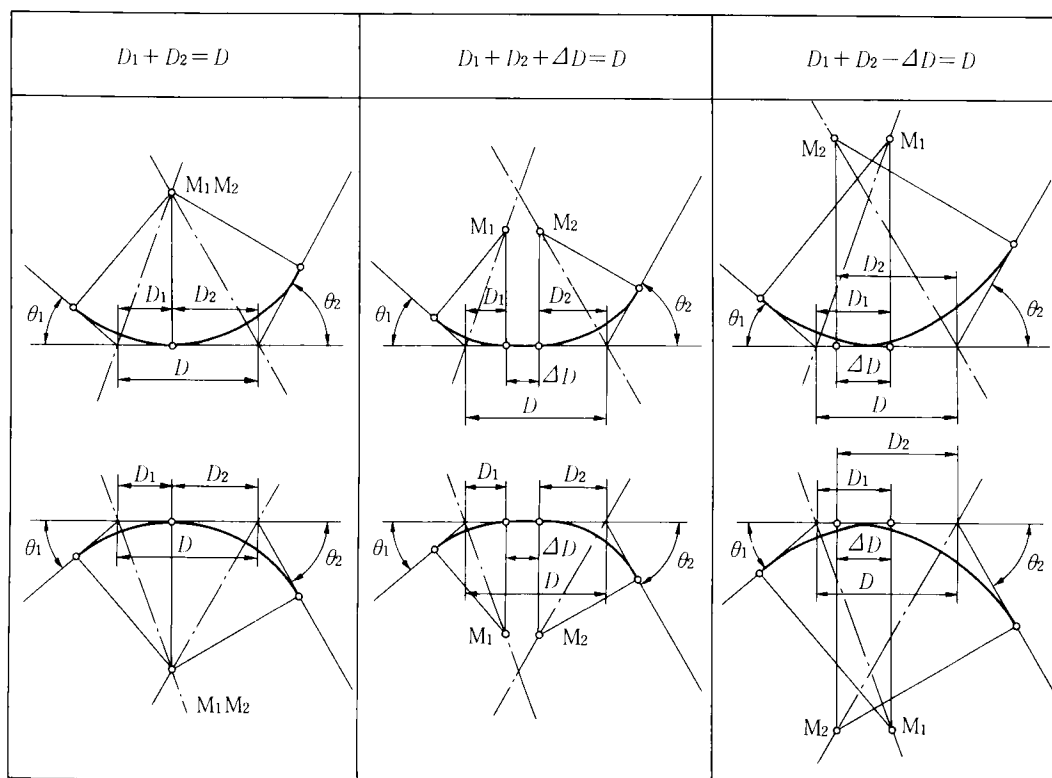


図3.3 3つの測線と6種類のC形

### 3.4 諸要素の比率

S形を構成する2～6つの線形要素（表3.1参照）において、交通の安全性および快適性と密接な関係があるとされている3つの要素（クロソイドのパラメーター、曲率半径、クロソイド長）の比率およびS形を構成する線形要素の曲線長の比率について述べよう。

#### 3.4.1 16種類のS形の選定

49種類のS形は、7種類の平面線形（ $C$ ）、 $(K)$ 、 $(C-K)$ 、 $(K-\bar{K})$ 、 $(\bar{K})$ 、 $(C-\bar{K})$ 、 $(C=K)$  から成立している。これらの平面線形（ $Y$ ）は、 $(Y)$ が持つクロソイドの数によって、次の3種類に分類することができる。

- イ）クロソイドを持たない（ $Y$ ）： $(C)$ の1種類。
- ロ）クロソイドを1つ持つ（ $Y$ ）： $(\bar{K})$ と $(C-\bar{K})$ の2種類。
- ハ）クロソイドを2つ持つ（ $Y$ ）： $(K)$ 、 $(C-K)$ 、 $(K-\bar{K})$ 、 $(C=K)$ の4種類。

自動車が任意の角度 $\theta$ だけ方向転換をするときの走行軌跡に対応する平面線形は、運転者がハンドルを切るときおよびハンドルをもどすときに対応する平面線形として、2つのクロソイドを持つことが望ましいとすると、S形を構成する2つの平面線形 $(Y)_1$ 、 $(Y)_2$ は、ハ）に示した4種類となる。そして、S形は、これを構成する（ $Y$ ）の種類によって、 $16(=4 \times 4)$ 種類となる。したがって、こ

のような方法で選定された 16 種類の S 形は、クロソイドを 4 つ持つこととなる。この種類の数 16 は、49 種類の S 形から、クロソイドを 4 つ持つ S 形を選定した種類の数と一致する。表 3.1 において、その番号が○印で囲まれた S 形は、これら 16 ( $=4+6 \times 2$ ) 種類の S 形を示す。

### 3.4.2 諸要素の比率

3.4.1 で選定した 16 種類の S 形における諸要素の比率は、S 形における 7 つの変数の関数となる。S 形は、2 つの平面線形  $(Y)_1$ ,  $(Y)_2$  から構成されている。一般に、 $(Y)_1$  の形は、 $\theta_1$ ,  $\tau_{11} = \theta_1/m_1$ ,  $\tau_{12} = \theta_1/m_2$  によって、 $(Y)_2$  の形は、 $\theta_2$ ,  $\tau_{21} = \theta_2/n_1$ ,  $\tau_{22} = \theta_2/n_2$  によって、主測線の長さ  $D$  に対する  $(Y)_1$ ,  $(Y)_2$  の相対的な大きさは、変数  $N$  によって決められる。したがって、S 形  $(Y)_1 + (Y)_2$  における諸要素の比率は、7 つの変数  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $n_1$ ,  $n_2$  および  $N$  の関数となる。

表 3.4 は、16 種類の S 形に共通する諸要素の比率の一般式を示している。表 3.5 を用いると、他の 15 種類の S 形における諸要素の比率が得られる。表 3.6 ~ 3.20 は、表 3.5 を用いて求めた結果を示す。これら 16 個の表について述べよう。

表 3.4 ⑦  $(C=K)_1 + (C=K)_2$  の比率

計算条件 諸要素	$\tau_{11} = \theta_1/m_1$ , $\tau_{12} = \theta_1/m_2$ , $\tau_{21} = \theta_2/n_1$ , $\tau_{22} = \theta_2/n_2$		
	パラメーターを一定の比率 $N$	曲率半径を一定の比率 $N$	クロソイド長を一定の比率 $N$
パラメーター	$A_{21}/A_{12} = N$	$A_{21}/A_{12} = N \cdot a^{1/2}$	$A_{12}/A_{21} = (1/N) a^{1/2}$
曲率半径	$R_1/R_2 = (1/N) a^{1/2}$	$R_2/R_1 = N$	$R_1/R_2 = (1/N) a$
クロソイド長	$L_{21}/L_{12} = N \cdot a^{1/2}$	$L_{21}/L_{12} = N \cdot a$	$L_{21}/L_{12} = N$
6 つの曲線長の比率	$1 : \{m_1 [1 + (m_1/m_2)]\} / 2 : m_1/m_2 : N \cdot X : N \cdot X \{n_1 [1 + (n_1/n_2)]\} / 2 : N \cdot X (n_1/n_2)$		
$X$ の値	$m_1 [\theta_2 / (\theta_1 \cdot m_2 \cdot n_1)]^{1/2}$	$a$	$m_1/m_2$

注)  $a = (\theta_2/\theta_1)(m_2/n_1)$  である。

表 3.5 S 形  $(C=K)_1 + (C=K)$  から、他の種類の S 形を求める方法

$(C=K)_1$	$\xrightarrow{m_1=m_2=m \text{ とおく}}$	$(C=K)_1$	$\xrightarrow{m=2 \text{ とおく}}$	$(K)_1$
$(C=K)_1$	$\xrightarrow{\text{第 2 項を削除する}}$	$(K-\bar{K})_1$		
$(C=K)_2$	$\xrightarrow{n_1=n_2=n \text{ とおく}}$	$(C=K)_2$	$\xrightarrow{n=2 \text{ とおく}}$	$(K)_2$
$(C=K)_2$	$\xrightarrow{\text{第 5 項を削除する}}$	$(K-\bar{K})_2$		

注) 第 2 項とは  $\{m_1 [1 + (m_1/m_2)]\} / 2$ 、第 5 項とは  $N \cdot X (n_1 [1 + (n_1/n_2)]\} / 2$  である。

表 3.6 ②  $(K)_1 + (K)_2$  の比率

計 算 条 件	$\tau_1 = \theta_1 / 2$		$\tau_2 = \theta_2 / 2$
4 つの曲線長の比率	1 : 1 : $N \cdot X$ : $N \cdot X$		
$X$ の 値	$a^{1/2}$	$a$	1

注)  $a = (\theta_2/\theta_1)$  である。

表 3.7 ④  $(C-K)_1 + (C-K)_2$  の比率

計 算 条 件	$\tau_1 = \theta_1 / m$ $\tau_2 = \theta_2 / n$	
6 つの曲線長の比率	$1 : (m-2)/2 : 1 : N \cdot X : N \cdot X (n-2)/2 : N \cdot X$	
X の 値	$a^{1/2}$	$a$ 1

注)  $a = (\theta_2 / \theta_1) (m/n)$  である.

表 3.8 ⑤  $(K-\bar{K})_1 + (K-\bar{K})_2$  の比率

計 算 条 件	$\tau_{11} = \theta_1 / m_1, \tau_{12} = \theta_1 / m_2, \tau_{21} = \theta_2 / n_1, \tau_{22} = \theta_2 / n_2$	
4 つの曲線長の比率	$1 : m_1 / m_2 : N \cdot X : N \cdot X (n_1 / n_2)$	
X の 値	$m_1 [\theta_2 / (\theta_1 \cdot m_2 \cdot n_1)]^{1/2}$	$a$ $m_1 / m_2$

注)  $a = (\theta_2 / \theta_1) (m_2 / n_1)$  である.

表 3.9 ⑮のイ)  $(K)_1 + (C-K)_2$  の比率

計 算 条 件	$\tau_1 = \theta_1 / 2, \tau_2 = \theta_2 / n$	
5 つの曲線長の比率	$1 : 1 : N \cdot X : N \cdot X (n-2)/2 : N \cdot X$	
X の 値	$a^{1/2}$	$a$ 1

注)  $a = (\theta_2 / \theta_1) (2/n)$  である.

表 3.10 ⑮のロ)  $(C \cdot K)_1 + (K)_2$  の比率

計 算 条 件	$\tau_1 = \theta_1 / m, \tau_2 = \theta_2 / 2$	
5 つの曲線長の比率	$1 : (m-2)/2 : 1 : N \cdot X : N \cdot X$	
X の 値	$a^{1/2}$	$a$ 1

注)  $a = (\theta_2 / \theta_1) (m/2)$  である.

表 3.11 ⑯のイ)  $(K)_1 + (K-\bar{K})_2$  の比率

計 算 条 件	$\tau_1 = \theta_1 / 2, \tau_{21} = \theta_2 / n_1, \tau_{22} = \theta_2 / n_2$	
4 つの曲線長の比率	$1 : 1 : N \cdot X : N \cdot X (n_1 / n_2)$	
X の 値	$a^{1/2}$	$a$ 1

注)  $a = (\theta_2 / \theta_1) (2/n_1)$  である.

表 3.12 ⑯のロ)  $(K-\bar{K})_1 + (K)_2$  の比率

計 算 条 件	$\tau_{11} = \theta_1 / m_1, \tau_{12} = \theta_1 / m_2, \tau_2 = \theta_2 / 2$	
4 つの曲線長の比率	$1 : m_1 / m_2 : N \cdot X : N \cdot X$	
X の 値	$m_1 [\theta_2 / (2 \theta_1 \cdot m_2)]^{1/2}$	$a$ $m_1 / m_2$

注)  $a = (\theta_2 / \theta_1) (m_2 / 2)$  である.

表 3.13 ⑱のイ)  $(K)_1 + (C=K)_2$  の比率

計 算 条 件	$\tau_{11} = \theta_1/2, \tau_{21} = \theta_2/n_1, \tau_{22} = \theta_2/n_2$		
5つの曲線長の比率	$1 : 1 : N \cdot X : N \cdot X \{n_1 - [1 + (n_1/n_2)]\} / 2 : N \cdot X (n_1/n_2)$		
X の 値	$a^{1/2}$	$a$	1

注)  $a = (\theta_2/\theta_1)(2/n_1)$  である。

表 3.14 ⑲のロ)  $(C=K)_1 + (K)_2$  の比率

計 算 条 件	$\tau_{11} = \theta_1/m_1, \tau_{12} = \theta_1/m_2, \tau_2 = \theta_2/2$		
5つの曲線長の比率	$1 : \{m_1 - [1 + (m_1/m_2)]\} / 2 : m_1/m_2 : N \cdot X : N \cdot X$		
X の 値	$m_1 [\theta_2 / (2\theta_1 \cdot m_2)]^{1/2}$	$a$	$m_1/m_2$

注)  $a = (\theta_2/\theta_1)(m_2/2)$  である。

表 3.15 ㉓のイ)  $(C-K)_1 + (K-\bar{K})_2$  の比率

計 算 条 件	$\tau_{11} = \theta_1/m, \tau_{21} = \theta_2/n_1, \tau_{22} = \theta_2/n_2$		
5つの曲線長の比率	$1 : (m-2)/2 : 1 : N \cdot X : N \cdot X (n_1/n_2)$		
X の 値	$a^{1/2}$	$a$	1

注)  $a = (\theta_2/\theta_1)(m/n_1)$  である。

表 3.16 ㉓のロ)  $(K-\bar{K})_1 + (C-K)_2$  の比率

計 算 条 件	$\tau_{11} = \theta_1/m_1, \tau_{12} = \theta_1/m_2, \tau_2 = \theta_2/n$		
5つの曲線長の比率	$1 : m_1/m_2 : N \cdot X : N \cdot X (n-2)/2 : N \cdot X$		
X の 値	$m_1 [\theta_2 / (\theta_1 \cdot m_2 \cdot n)]^{1/2}$	$a$	$m_1/m_2$

注)  $a = (\theta_2/\theta_1)(m_2/n)$  である。

表 3.17 ㉔のイ)  $(C-K)_1 + (C=K)_2$  の比率

計 算 条 件	$\tau_{11} = \theta_1/m, \tau_{21} = \theta_2/n_1, \tau_{22} = \theta_2/n_2$		
6つの曲線長の比率	$1 : (m-2)/2 : 1 : N \cdot X : N \cdot X \{n_1 - [1 + (n_1/n_2)]\} / 2 : N \cdot X (n_1/n_2)$		
X の 値	$a^{1/2}$	$a$	1

注)  $a = (\theta_2/\theta_1)(m/n_1)$  である。

表 3.18 ㉔のロ)  $(C=K)_1 + (C-K)_2$  の比率

計 算 条 件	$\tau_{11} = \theta_1/m_1, \tau_{12} = \theta_2/m_2, \tau_2 = \theta_2/n$		
6つの曲線長の比率	$1 : \{m_1 - [1 + (m_1/m_2)]\} / 2 : m_1/m_2 : N \cdot X : N \cdot X (n-2)/2 : N \cdot X$		
X の 値	$m_1 [\theta_2 / (\theta_1 \cdot m_2 \cdot n)]^{1/2}$	$a$	$m_1/m_2$

注)  $a = (\theta_2/\theta_1)(m_2/n)$  である。



表 3.19 ㉔のイ)  $(K-\bar{K})_1 + (C-K)_2$  の比率

計 算 条 件	$\tau_{11} = \theta_1/m_1, \tau_{12} = \theta_1/m_2, \tau_{21} = \theta_2/n_1, \tau_{22} = \theta_2/n_2$		
5つの曲線長の比率	$1 : m_1/m_2 : N \cdot X : N \cdot X \{n_1 - [1 + (n_1/n_2)]\} / 2 : N \cdot X (n_1/n_2)$		
X の 値	$m_1 [\theta_2 / (\theta_1 \cdot m_2 \cdot n_1)]^{1/2}$	a	$m_1/m_2$

注)  $a = (\theta_2/\theta_1)(m_2/n_1)$  である。

表 3.20 ㉔のロ)  $(C-K)_1 + (K-\bar{K})_2$  の比率

計 算 条 件	$\tau_{11} = \theta_1/m_1, \tau_{12} = \theta_1/m_2, \tau_{21} = \theta_2/n_1, \tau_{22} = \theta_2/n_2$		
5つの曲線長の比率	$1 : \{m_1 - [1 + (m_1/m_2)]\} / 2 : m_1/m_2 : N \cdot X : N \cdot X (n_1/n_2)$		
X の 値	$m_1 [\theta_2 / (\theta_1 \cdot m_2 \cdot n_1)]^{1/2}$	a	$m_1/m_2$

注)  $a = (\theta_2/\theta_1)(m_2/n_1)$  である。

表 3.21  $(C-K)_1 + (C-K)_2$  の比率

諸 要 素	計算条件	$\tau_1 = \theta_1/m, \tau_2 = \theta_2/n$		
	パラメーターを一定	曲率半径を一定	クロソイド長を一定	
パ ラ メ ー タ ー	$A_1/A_2 = A$	$A_2/A_1 = a^{1/2}$	$A_1/A_2 = a^{1/2}$	
曲 率 半 径	$R_1/R_2 = a^{1/2}$	$R_1 = R_2 = R$	$R_1/R_2 = a$	
ク ロ ソ イ ド 長	$L_2/L_1 = a^{1/2}$	$L_2/L_1 = a$	$L_1 = L_2 = L$	
6つの曲線長の比	$1 : (m-2)/2 : 1 : a^{1/2} : a^{1/2}(n-2)/2 : a^{1/2}$	$1 : (m-2)/2 : 1 : a : a(n-2)/2 : a$	$1 : (m-2)/2 : 1 : 1 : (n-2)/2 : 1$	

注)  $a = (\theta_2/\theta_1)(m/n)$  である。

表 3.22  $(C-K)_1 + (C-K)_2$  の比率

諸 要 素	計算条件	$\tau_1 = \theta_1/4, \tau_2 = \theta_2/4$		
	パラメーターを一定	曲率半径を一定	クロソイド長を一定	
パ ラ メ ー タ ー	$A_1 = A_2 = A$	$A_2/A_1 = a^{1/2}$	$A_1/A_2 = a^{1/2}$	
曲 率 半 径	$R_1/R_2 = a^{1/2}$	$R_1 = R_2 = R$	$R_1/R_2 = a$	
ク ロ ソ イ ド 長	$L_2/L_1 = a^{1/2}$	$L_2/L_1 = a$	$L_1 = L_2 = L$	
6つの曲線長の比	$1 : 1 : 1 : a^{1/2} : a^{1/2} : a^{1/2}$	$1 : 1 : 1 : a : a : a$	$1 : 1 : 1 : 1 : 1 : 1$	

注)  $a = (\theta_2/\theta_1)$  である。

表 3.23  $(K)_1 + (C-K)_2$  の比率

諸 要 素	計算条件	$\tau_1 = \theta_1/2, \tau_2 = \theta_2/4$		
	パラメーターを一定	曲率半径を一定	クロソイド長を一定	
パ ラ メ ー タ ー	$A_1/A_2 = A$	$A_2/A_1 = a^{1/2}$	$A_1/A_2 = a^{1/2}$	
曲 率 半 径	$R_1/R_2 = a^{1/2}$	$R_1 = R_2 = R$	$R_1/R_2 = a$	
ク ロ ソ イ ド 長	$L_2/L_1 = a^{1/2}$	$L_2/L_1 = a$	$L_1 = L_2 = L$	
5つの曲線長の比	$1 : 1 : a^{1/2} : a^{1/2} : a^{1/2}$	$1 : 1 : a : a : a$	$1 : 1 : 1 : 1 : 1$	

注)  $a = \theta_2/2\theta_1$  である。

イ)  $N$ と諸要素：変数 $N$ によって制御する諸要素は、パラメーター、曲率半径、クロソイド長としている。

ロ) 3つの諸要素の比率：パラメーター、曲率半径、クロソイド長の比率を、それぞれの欄に示した(表3.4参照)。しかし、他の15個の表(表3.6～3.20)には示していない。これは、表3.4に示した3つの欄は、他の15個の表にも共通であることから省略している。ただし、S形を構成する平面線形( $Y$ )が対称形の場合は、パラメーター $A_{21}$ は $A_2$ に、 $A_{12}$ は $A_1$ に、またクロソイド長 $L_{21}$ は $L_2$ に、 $L_{12}$ は $L_1$ にしなければならない。

ハ)  $X$ の値：4～6つの曲線長の比率の欄に示した $X$ の値は、変数 $N$ によって制御しようとする要素によって異なる値となる。

ニ)  $N=1$ ：表3.7において、 $N=1$ とくと、表3.21が、さらに、 $m=n=4$ とくと、表3.22が得られる。表3.9において、 $N=1$ 、 $n=4$ とくと、表3.23が、また、表3.6において、 $N=1$ とくと、表3.24が得られる。

表3.24  $(K)_1 + (K)_2$  の比率

諸要素	計算条件	$\tau_1 = \theta_1/2, \tau_2 = \theta_2/2$		
		パラメーターを一定	曲率半径を一定	クロソイド長を一定
パラメーター		$A_1 = A_2 = A$	$A_2/A_1 = a^{1/2}$	$A_1/A_2 = a^{1/2}$
曲率半径		$R_1/R_2 = a^{1/2}$	$R_1 = R_2 = R$	$R_1/R_2 = a$
クロソイド長		$L_2/L_1 = a^{1/2}$	$L_2/L_1 = a$	$L_1 = L_2 = L$
4つの曲線長の比		$1 : 1 : a^{1/2} : a^{1/2}$	$1 : 1 : a : a$	$1 : 1 : 1 : 1$

注)  $a = \theta_2/\theta_1$ である。

### 3.5 S形の選定法とその評価(その1)

道路路線の望ましい形状としてのS形を選定するためには、S形を構成する2つの平面線形の選定と、2つの平面線形の相対的な大きさの選定の2つを考慮しなければならない。これらについて述べよう。

#### 3.5.1 3種類のS形の選定

16( $=4 \times 4$ )種類のS形を構成する4種類の平面線形は、 $(K)$ 、 $(C-K)$ 、 $(K-K)$ 、 $(C=K)$ である。これらの平面線形のうち、道路夾角の二等分線に対して、対称形となっているのは $(C-K)$ と $(K)$ である。S形を構成する平面線形は非対称形より対称形が望ましいとして、S形を選定すると、次の4種類のS形が得られる(表3.1参照)。

イ)  $(C-K)_1 + (C-K)_2$ ：④番

ロ)  $(K)_1 + (C-K)_2$ ：⑮番のイ)

ハ)  $(K)_1 + (K)_2$ ：②番

ニ)  $(C-K)_1 + (K)_2$ ：⑮番のロ)

ニ) のS形は、ロ) のS形と左右対称となっていることから削除すると3種類となる。

このようにして得られた3種類のS形における(C-K)において、(C-K)を構成する3つの線形要素の曲線長は、同一であることが望ましいとすると、(C-K)の接線角 $\tau$ は、 $\tau = \theta / 4$ となる。 $\tau = \theta / 4$ では(C-K)における3つの線形要素の曲線長は同一であり、2つのクロソイドは合同である。また、(K)では $\tau = \theta / 2$ であり、(K)を構成する2つのクロソイドは合同である。

### 3.5.2 S形の類種と相対的な大きさの選定法

道路路線の形状的な選定をするためには、写真1.1に示した方法がもっとも適当であるとされている。この方法によって得られた道路トラバースに対して、具体的なS形を求める方法について述べよう。

3.5.1に示した3種類のS形における諸要素の比率は、すべて変数 $\theta_2/\theta_1$ の関数となっており、表3.22～3.24と図3.4のようである。図3.4に示した直線または曲線は、次のようである。

- イ) 直線①は、 $\theta_2/\theta_1$ を示す。
- ロ) 曲線②は、 $(\theta_2/\theta_1)^{1/2}$ を示す。
- ハ) 直線③は、 $\theta_2/2\theta_1$ を示す。
- ニ) 曲線④は、 $(\theta_2/2\theta_1)^{1/2}$ を示す。

図3.4における○印は、○印の中を通る直線または曲線は1点を通ることを示す。

表3.22～3.24に示したS形における諸要素の比率は、1がもっとも望ましい。1でないときは、1に近い程望ましいとして、S形の類種と相対的な大きさの選定法を示すと、次のようである。

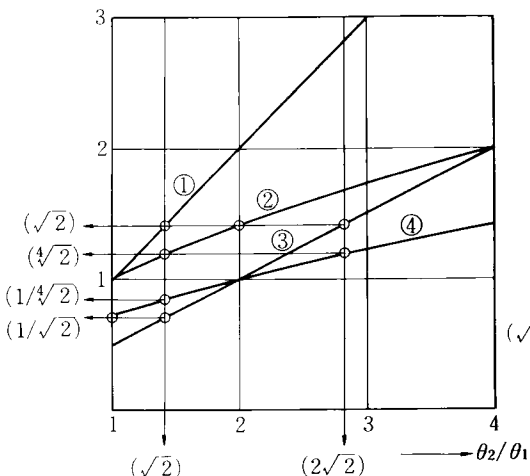


図3.4 表3.22～3.24に示した諸要素の比率

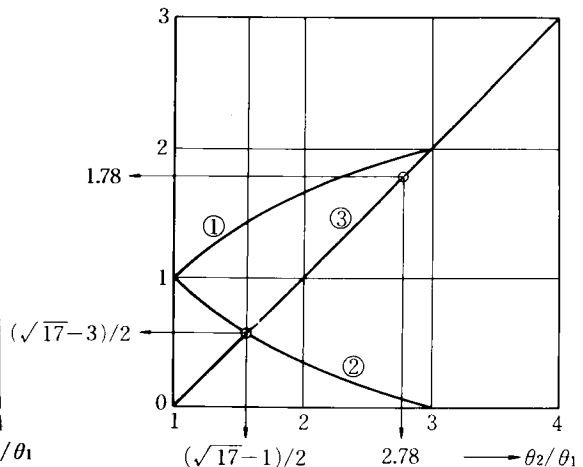


図3.5 表3.25～3.26に示した諸要素の比率

#### (I) S形の種類の選定法

望ましいS形の種類の選定法は、次のようである。

- イ)  $1 \leq \theta_2/\theta_1 \leq \sqrt{2} = 1.41$  では、S形  $(C-K)_1 + (C-K)_2$ 、またはS形  $(K)_1 + (K)_2$  を用いる。
- ロ)  $\sqrt{2} \leq \theta_2/\theta_1$  では、S形  $(K)_1 + (C-K)_2$  を用いる。

一般にイ)について、 $\theta_1, \theta_2$ が小さい場合または設計速度によって定められた最低限の緩和曲線長 $L$ に対して、主測線の長さ $D$ が小さい場合は、S形 $(C-K)_1 + (C-K)_2$ よりS形 $(K)_1 + (K)_2$ に近い平面線形、または、S形 $(K)_1 + (K)_2$ が望ましい。また、ロ)について、紙面に向かって、左側から右側に道路路線が直線部から曲線部に移行するときは、S形 $(K)_1 + (C-K)_2$ が望ましい。

#### (2) 相対的な大きさの選定法とその評価

3.5.2.1に示した方法でS形の種類を選定する場合、3つの選定法(パラメーターを一定とする方法、曲率半径を一定とする方法、クロソイド長を一定とする方法)における諸要素の比率の限界を示すと、次のようである。ただし $\theta_2/\theta_1 \leq 2\sqrt{2} \approx 2.83$ とする。

イ) パラメーターを一定とする方法の場合：曲率半径の比率、クロソイド長の比率およびS形を構成する4～6つの線形要素における最小曲線長に対する最大曲線長の比率は、 $\sqrt[4]{2} \approx 1.19$ を越えることはない。

ロ) クロソイド長を一定とする方法の場合：パラメーターの比率は $\sqrt[4]{2}$ を、曲線長の比率は $\sqrt{2}$ を、越えることはない。なお、S形を構成する4～6つの線形要素の曲線長は一定である。

ハ) 曲率半径を一定とする方法の場合：パラメーターの比率は $\sqrt[4]{2}$ を、クロソイド長の比率とS形を構成する4～6つの線形要素における最小曲線長に対する最大曲線長の比率は、 $\sqrt{2}$ を越えることはない。

以上の結果に基づいて、3つの選定法の評価をすると、次のようである。

イ) 第1位：パラメーターを一定とする方法。

ロ) 第2位：クロソイド長を一定とする方法。

ハ) 第3位：曲率半径を一定とする方法。

## 3.6 S形の選定法とその評価(その2)

表3.22～3.24に示した9種類のS形の選定法のすべてにおいて、S形を構成する平面線形(Y)におけるクロソイドは合同である。しかし、 $\theta_1 = \theta_2$ として $(S) = (C-K)_1 + (C-K)_2$ または $(S) = (K)_1 + (K)_2$ を、 $2\theta_1 = \theta_2$ として $(S) = (K)_1 + (C-K)_2$ を選定しないかぎり、S形における4つのクロソイドは合同とならない。 $\theta_1 = \theta_2$ または $2\theta_1 = \theta_2$ としなくても、S形における4つのクロソイドが合同となるS形について述べよう。

### 3.6.1 S形の種類と相対的な大きさの選定法

S形における4つのクロソイドを合同とし、さらに4～6つの線形要素の曲線長の比率を1に近くするという2つの条件を満足するS形は、 $\theta_1 = \theta_2$ の近傍では、S形 $(C-K)_1 + (C-K)_2$ 、 $2\theta_1 = \theta_2$ の近傍では、S形 $(K)_1 + (C-K)_2$ の2つである。そしてS形 $(C-K)_1 + (C-K)_2$ では、 $\tau_1 = \tau_2 = \tau = (\theta_1 + \theta_2)/8$ 、S形 $(K)_1 + (C-K)_2$ では、 $\tau_1 = \tau_2 = \tau = \theta_1/2$ となる。また相対的な大きさの選定法は、4つのクロソイドを合同とすることを条件としていることから、パラメーターを一定とする方法となる。これら2種類のS形における諸要素の比率は、すべて変数 $\theta_2/\theta_1$ の関数となっており、

表 3.25  $(S) = (C-K)_1 + (C-K)_2$  の比率

諸要素	計算条件
	$\tau_1 = \tau_2 = \tau$ パラメーターを一定
パラメーター	$A_1 = A_2 = A$
曲率半径	$R_1 = R_2 = R$
クロソイド長	$L_1 = L_2 = L$
6つの曲線長の比	$1 : (LC_1/L) : 1 : 1 : (LC_2/L) : 1$

表 3.26  $(S) = (K)_1 + (C-K)_2$  の比率

諸要素	計算条件
	$\tau_1 = \tau_2 = \tau = \theta_1/2$ パラメーターを一定
パラメーター	$A_1 = A_2 = A$
曲率半径	$R_1 = R_2 = R$
クロソイド長	$L_1 = L_2 = L$
5つの曲線長の比	$1 : 1 : 1 : (LC_2/L) : 1$

注) 主測線をX軸とする2つのクロソイドのパラメーターについて  $N=1$  とするS形を  $(S)$  ,  $N \neq 1$  とするS形を  $(\bar{S})$  で示す.

表 3.25～3.26 および図 3.5 のようである. 図 3.5 に示した直線または曲線は, 次のようである.

- イ) 曲線①は, 表 3.25 の  $LC_1/L = 1-a$  を示す.
  - ロ) 曲線②は, 表 3.25 の  $LC_2/L = 1+a$  を示す.
  - ハ) 直線③は, 表 3.26 の  $LC_2/L = (\theta_2/\theta_1) - 1$  を示す.
- ここに,  $a = 2[(\theta_2/\theta_1) - 1] / [(\theta_2/\theta_1) + 1]$  である.

### 3.6.2 S形の種類の選定法とその評価

望ましいS形の種類の選定法は, 次のようである.

- イ)  $1 \leq \theta_2/\theta_1 \leq (\sqrt{17}-1)/2 \approx 1.56$  では,  $(S) = (C-K)_1 + (C-K)_2$  を用いる.
- ロ)  $(\sqrt{17}-1)/2 \leq \theta_2/\theta_1$  では,  $(S) = (K)_1 + (C-K)_2$  を用いる.

このような方法でS形の種類の選定をする場合,  $\theta_2/\theta_1 \leq 2.78$  とすると, 単曲線長のクロソイド長に対する比率は, 1.78 を越えることはない. しかし, この値は 3.5.2.2 に示した3つの方法に比べると, あまりにも大きい. したがってこの方法の評価は, 第4位となる.

## 3.7 S形の選定例

表 3.27 は, 表 3.22～3.26 に示した 11 ( $=3 \times 3 + 2$ ) の選定法による 11 の選定例(計算例)と, これらの選定法に関連する5つの選定例である. 表 3.27 について述べよう.

### 3.7.1 16の選定例

イ) 表の番号(公式): 選定例に対応する選定法の表の番号を示す. また, イ), ロ), ハ) は, それぞれパラメーターを一定とする方法, 曲率半径を一定とする方法, クロソイド長を一定とする方法を示す.

ロ) 要素: 計算条件において一定 ( $N=1$ ) とした要素を示す.

ハ)  $12^\circ 03' 45''$ : 計算例〔表の番号(公式): 3.25〕では, 式  $(\theta_1 + \theta_2)/8 = 12^\circ 03' 45''$  が成立する.

ニ)  $15^\circ 21'$ : 計算例〔表の番号(公式): 3.26〕では, 式  $\theta_1/2 = 15^\circ 21'$  が成立する.

表 3.27 計算例の一覧表

表の番号 ・ (公式)	計 算 条 件						S 形の記号	表 の 番 号	図 の 番 号
	$\theta_1$	$\tau_1$	$\theta_2$	$\tau_2$	$D$	要 素			
3.24 のイ)	$45^{\circ}50'$	$\theta_1/2$	$50^{\circ}40'$	$\theta_2/2$	399.483	A	$(S) = (K)_1 + (K)_2$	3.28	3.6
3.21 のイ)	"	$\theta_1/3$	"	$\theta_2/3$	"	"	$(S) = (C - K)_1 + (C - K)_2$	3.29	3.7
3.22 のイ)	"	$\theta_1/4$	"	$\theta_2/4$	"	"	"	3.30	3.8
3.21 のイ)	"	$\theta_1/5$	"	$\theta_2/5$	"	"	"	3.31	3.9
3.21 のイ)	"	$\theta_1/6$	"	$\theta_2/6$	"	"	"	3.32	3.10
3.22 のロ)	"	$\theta_1/4$	"	$\theta_2/4$	"	R	$(\bar{S}) = (C - K)_1 + (C - K)_2$	3.33	
3.22 のハ)	"	"	"	"	"	L	"	3.34	
3.25	"	$12^{\circ}03'45''$	"	$12^{\circ}03'45''$	"	$\tau$ と A	$(S) = (C - K)_1 + (C - K)_2$	3.35	3.11
3.23 のイ)	$30^{\circ}42'$	$\theta_1/2$	$56^{\circ}36'$	$\theta_2/4$	145.210	A	$(S) = (K)_1 + (C - K)_2$	3.36	
3.23 のロ)	"	"	"	"	"	R	$(\bar{S}) = (K)_1 + (C - K)_2$	3.37	
3.23 のハ)	"	"	"	"	"	L	$(\bar{S}) = (K)_1 + (C - K)_2$	3.38	3.12
3.26	"	$15^{\circ}21'$	"	$15^{\circ}21'$	"	$\tau$ と A	$(S) = (K)_1 + (C - K)_2$	3.39	
3.23 のイ)	$32^{\circ}10'$	$16^{\circ}05'$	$64^{\circ}20'$	$16^{\circ}05'$	399.483	A	$(S) = (K)_1 + (C - K)_2$	3.40	3.43
3.24 のイ)	$24^{\circ}55'$	$\theta_1/2$	$30^{\circ}42'$	$\theta_2/2$	136.230	A	$(S) = (K)_1 + (K)_2$	3.41	
3.24 のロ)	"	"	"	"	"	R	$(S) = (K)_1 + (K)_2$	3.42	
3.24 のハ)	"	"	"	"	"	L	"	3.43	

ホ)  $2\theta_1 = \theta_2$  : 計算例〔表の番号

(公式) : 3.23 のイ)〕では、式

$2\theta_1 = \theta_2$  が成立する。

ヘ) 表の番号 : 計算表の番号を示す。

ト) 図の番号 : 計算表による計算結果を図示した図の番号を示す。

### 3.7.2 選定例の計算表

表 3.28 ~ 3.43 は、表 3.27 に示した 16 の選定例の計算表である。

これらの表について述べよう。

イ) 用いた数表 :  $(UR, Y)$  は、文献 4) の数表から得られる。

ロ) 計算法 : 3.3.1 に示した S 形の計算法を参照されたい。

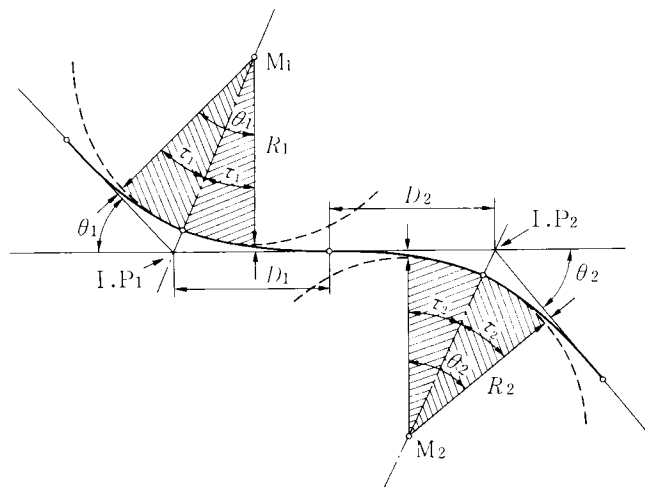


図 3.6  $(S) = (K)_1 + (K)_2$  ( $\tau = \theta/2$ )

表 3.28  $(S) = (K)_1 + (K)_2$  の計算表 $D = 399.483$ 

線形要素	$(UR, K)_1$	$(K)_1$	$(UR, K)_2$	$(K)_2$
道路交角	$\theta = 45^\circ 50' 00'' (= 0.799943)$		$\theta = 50^\circ 40' 00'' (= 0.884300)$	
接線角	$\tau = \theta / 2 = 22^\circ 55' 00''$		$\tau = \theta / 2 = 25^\circ 20' 00''$	
外線長	$g = 0.114474$	$G = 26.673$	$g = 0.142197$	$G = 31.513$
パラメーター	$l = 0.894395$	$A = 208.402$	$l = 0.940372$	$A = 208.402$
曲率半径	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 233.009$	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 221.616$
接線長	$d = 0.831815$	$D = 193.820$	$d = 0.928012$	$D = 205.663$
クロソイド長	$l^2 = 0.799943$	$L = 186.394$	$l^2 = 0.884300$	$L = 195.975$
単曲線長	$lC = 0$	$LC = 0$	$lC = 0$	$LC = 0$
曲線長	$Cl = 1.599886$	$CL = 372.788$	$Cl = 1.768600$	$CL = 391.952$
移程量	$\Delta = 0.026511$	$\Delta R = 6.177$	$\Delta = 0.032356$	$\Delta R = 7.171$
接線角/道路交角	$\tau / \theta = 0.500000$		$\tau / \theta = 0.500000$	
単曲線長/クロソイド長	$lC / l^2 = 0$		$lC / l^2 = 0$	
パラメーター/接線長	$k_1 = 1.075233$		$k_2 = 1.013319$	
$\theta_2 / \theta_1 = 1.105455$	$(\theta_2 / \theta_1)^{1/2} = 1.051406$	$A_2 / A_1 = 1.000000$	$R_1 / R_2 = 1.051409$	$L_2 / L_1 = 1.051402$
4つの曲線長の比	$L_1 : L_1 : L_2 : L_2 = 186.394 : 186.394 : 195.975 : 195.975$ $= 1 : 1 : 1.051406 : 1.051406$			
理論値	$(= 1 : 1 : 1.051406 : 1.051406)$			

表 3.29  $(S) = (C-K)_1 + (C-K)_2$  の計算表 $D = 399.483$ 

線形要素	$(UR, C-K)_1$	$(C-K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(C-K)_2$
道路交角	$\theta = 45^\circ 50' 00'' (= 0.799943)$		$\theta = 50^\circ 40' 00'' (= 0.884300)$	
接線角	$\tau = \theta / 3 = 15^\circ 16' 40''$		$\tau = \theta / 3 = 16^\circ 53' 20''$	
外線長	$g = 0.098524$	$G = 27.522$	$g = 0.122371$	$G = 32.512$
パラメーター	$l = 0.730270$	$A = 203.996$	$l = 0.767811$	$A = 203.996$
曲率半径	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 279.343$	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 265.685$
接線長	$d = 0.693773$	$D = 193.801$	$d = 0.774159$	$D = 205.682$
クロソイド長	$l^2 = 0.533295$	$L = 148.972$	$l^2 = 0.589533$	$L = 156.630$
単曲線長	$lC = 0.266648$	$LC = 74.486$	$lC = 0.294767$	$LC = 78.315$
曲線長	$Cl = 1.333240$	$CL = 372.431$	$Cl = 1.473835$	$CL = 391.576$
移程量	$\Delta = 0.011820$	$\Delta R = 3.302$	$\Delta = 0.014436$	$\Delta R = 3.835$
接線角/道路交角	$\tau / \theta = 0.333333$		$\tau / \theta = 0.333333$	
単曲線長/クロソイド長	$lC / l^2 = 0.500000$		$lC / l^2 = 0.500000$	
パラメーター/接線長	$k_1 = 1.052607$		$k_1 = 0.991800$	
$\theta_2 / \theta_1 = 1.105455$	$(\theta_2 / \theta_1)^{1/2} = 1.051406$	$A_2 / A_1 = 1.000000$	$R_1 / R_2 = 1.051407$	$L_2 / L_1 = 1.051406$
6つの曲線長の比	$L_1 : LC_1 : L_1 : L_2 : LC_2 : L_2 = 148.972 : 74.486 : 148.972 : 156.630 : 78.315 : 156.630$ $= 1 : 0.500000 : 1 : 1.051406 : 0.525703 : 1.051406$			
理論値	$(= 1 : 0.500000 : 1 : 1.051406 : 0.525703 : 1.051406)$			

表 3.30  $(S) = (C-K)_1 + (C-K)_2$  の計算表 $D = 399.483$ 

線形 諸要素	$(UR, C-K)_1$	$(C-K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(C-K)_2$
道路交角	$\theta = 45^\circ 50' 00'' (= 0.799943)$		$\theta = 50^\circ 40' 00'' (= 0.884300)$	
接線角	$\tau = \theta / 4 = 11^\circ 27' 30''$		$\tau = \theta / 4 = 12^\circ 40' 00''$	
外線長	$g = 0.092918$	$G = 28.794$	$g = 0.115395$	$G = 34.010$
パラメーター	$l = 0.632433$	$A = 195.980$	$l = 0.664944$	$A = 195.980$
曲率半径	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 309.883$	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 294.732$
接線長	$d = 0.625293$	$D = 193.768$	$d = 0.697975$	$D = 205.715$
クロソイド長	$l^2 = 0.399972$	$L = 123.944$	$l^2 = 0.442150$	$L = 130.316$
単曲線長	$lC = 0.399972$	$LC = 123.944$	$lC = 0.442150$	$LC = 130.316$
曲線長	$Cl = 1.199915$	$CL = 371.833$	$Cl = 1.326450$	$CL = 390.947$
移程量	$\Delta = 0.006656$	$\Delta R = 2.063$	$\Delta = 0.008131$	$\Delta R = 2.396$
接線角/道路交角	$\tau / \theta = 0.250000$		$\tau / \theta = 0.250000$	
単曲線長/クロソイド長	$lC / l^2 = 1.000000$		$lC / l^2 = 1.000000$	
パラメーター/接線長	$k_1 = 1.011419$		$k_2 = 0.952676$	
$\theta_2 / \theta_1 = 1.105455$	$(\theta_2 / \theta_1)^{1/2} = 1.051406$	$A_2 / A_1 = 1.000000$	$R_1 / R_2 = 1.051406$	$L_2 / L_1 = 1.051410$
6つの曲線長の比	$L_1 : LC_1 : L_1 : L_2 : LC_2 : L_2 = 123.944 : 123.944 : 123.944 : 130.316 : 130.316 : 130.316$ $= 1 : 1 : 1 : 1.051410 : 1.051410 : 1.051410$			
理論値	$(= 1 : 1 : 1 : 1.051406 : 1.051406 : 1.051406)$			

表 3.31  $(S) = (C-K)_1 + (C-K)_2$  の計算表 $D = 399.483$ 

線形 諸要素	$(UR, C-K)_1$	$(C-K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(C-K)_2$
道路交角	$\theta = 45^\circ 50' 00'' (= 0.799943)$		$\theta = 50^\circ 40' 00'' (= 0.884300)$	
接線角	$\tau = \theta / 5 = 9^\circ 10' 00''$		$\tau = \theta / 5 = 10^\circ 08' 00''$	
外線長	$g = 0.090319$	$G = 29.941$	$g = 0.112160$	$G = 35.364$
パラメーター	$l = 0.565665$	$A = 187.521$	$l = 0.594744$	$A = 187.521$
曲率半径	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 331.505$	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 315.297$
接線長	$d = 0.584413$	$D = 193.736$	$d = 0.652551$	$D = 205.747$
クロソイド長	$l^2 = 0.319977$	$L = 106.074$	$l^2 = 0.353720$	$L = 111.527$
単曲線長	$lC = 0.479966$	$LC = 159.111$	$lC = 0.530580$	$LC = 167.290$
曲線長	$Cl = 1.119920$	$CL = 371.259$	$Cl = 1.238020$	$CL = 390.344$
移程量	$\Delta = 0.004262$	$\Delta R = 1.413$	$\Delta = 0.005207$	$\Delta R = 1.642$
接線角/道路交角	$\tau / \theta = 0.200000$		$\tau / \theta = 0.200000$	
単曲線長/クロソイド長	$lC / l^2 = 1.500000$		$lC / l^2 = 1.500000$	
パラメーター/接線長	$k_1 = 0.967920$		$k_2 = 0.911414$	
$\theta_2 / \theta_1 = 1.105455$	$(\theta_2 / \theta_1)^{1/2} = 1.051406$	$A_2 / A_1 = 1.000000$	$R_1 / R_2 = 1.051406$	$L_2 / L_1 = 1.051408$
6つの曲線長の比	$L_1 : LC_1 : L_1 : L_2 : LC_2 : L_2 = 106.074 : 159.111 : 106.074 : 111.527 : 167.290 : 111.527$ $= 1 : 1.500000 : 1 : 1.051408 : 1.577107 : 1.051408$			
理論値	$(= 1 : 1.500000 : 1 : 1.051406 : 1.577109 : 1.051406)$			



表 3.32  $(S) = (C-K)_1 + (C-K)_2$  の計算表 $D = 399.483$ 

線形 諸要素	$(UR, C-K)_1$	$(C-K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(C-K)_2$
道路交角	$\theta = 45^\circ 50' 00''$ ( $= 0.799943$ )		$\theta = 50^\circ 40' 00''$ ( $= 0.884300$ )	
接線角	$\tau = \theta/6 = 7^\circ 38' 20''$		$\tau = \theta/6 = 8^\circ 26' 40''$	
外線長	$g = 0.088906$	$G = 30.905$	$g = 0.110401$	$G = 36.500$
パラメーター	$l = 0.516380$	$A = 179.499$	$l = 0.542924$	$A = 179.499$
曲率半径	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 347.611$	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 330.616$
接線長	$d = 0.557256$	$D = 193.708$	$d = 0.622399$	$D = 205.775$
クロソイド長	$l^2 = 0.266648$	$L = 92.690$	$l^2 = 0.294767$	$L = 97.455$
単曲線長	$lC = 0.533295$	$LC = 185.379$	$lC = 0.589533$	$LC = 194.909$
曲線長	$Cl = 1.066591$	$CL = 370.758$	$Cl = 1.179067$	$CL = 389.818$
移程量	$\Delta = 0.002961$	$\Delta R = 1.029$	$\Delta = 0.003618$	$\Delta R = 1.196$
接線角/道路交角	$\tau/\theta = 0.166667$		$\tau/\theta = 0.166667$	
単曲線長/クロソイド長	$lC/l^2 = 2.000000$		$lC/l^2 = 2.000000$	
パラメーター/接線長	$k_1 = 0.926648$		$k_2 = 0.872309$	
$\theta_2/\theta_1 = 1.105455$	$(\theta_2/\theta_1)^{1/2} = 1.051406$	$A_2/A_1 = 1.000000$	$R_1/R_2 = 1.051404$	$L_2/L_1 = 1.051408$
6つの曲線長の比	$L_1:LC_1:L_1:L_2:LC_2:L_2 = 92.690:185.379:92.690:97.455:194.909:97.455$ $= 1:1.999989:1:1.051408:2.102805:1.051408$			
理論値	$(= 1:2.000000:1:1.051406:2.102812:1.051406)$			

表 3.33  $(\bar{S}) = (C-K)_1 + (C-K)_2$  の計算表 $D = 399.483$ 

線形 諸要素	$(UR, C-K)_1$	$(C-K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(C-K)_2$
道路交角	$\theta = 45^\circ 50' 00''$ ( $= 0.799943$ )		$\theta = 50^\circ 40' 00''$ ( $= 0.884300$ )	
接線角	$\tau = \theta/4 = 11^\circ 27' 30''$		$\tau = \theta/4 = 12^\circ 40' 00''$	
外線長	$g = 0.092918$	$G = 28.051$	$g = 0.115395$	$G = 34.837$
パラメーター	$l = 0.632433$	$A = 190.926$	$l = 0.664944$	$A = 200.741$
曲率半径	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 301.891$	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 301.891$
接線長	$d = 0.625293$	$D = 188.770$	$d = 0.697975$	$D = 210.713$
クロソイド長	$l^2 = 0.399972$	$L = 120.748$	$l^2 = 0.442150$	$L = 133.481$
単曲線長	$lC = 0.399972$	$LC = 120.748$	$lC = 0.442150$	$LC = 133.481$
曲線長	$Cl = 1.199915$	$CL = 362.244$	$Cl = 1.326450$	$CL = 400.444$
移程量	$\Delta = 0.006656$	$\Delta R = 2.009$	$\Delta = 0.008131$	$\Delta R = 2.455$
接線角/道路交角	$\tau/\theta = 0.250000$		$\tau/\theta = 0.250000$	
単曲線長/クロソイド長	$lC/l^2 = 1.000000$		$lC/l^2 = 1.000000$	
— /接線長	$k_2 = —$		$k_2 = —$	
$\theta_2/\theta_1 = 1.105455$	$(\theta_2/\theta_1)^{1/2} = 1.051406$	$A_2/A_1 = 1.051407$	$R_1/R_2 = 1.000000$	$L_2/L_1 = 1.105451$
6つの曲線長の比	$L_1:LC_1:L_1:L_2:LC_2:L_2 = 120.748:120.748:120.748:133.481:133.481:133.481$ $= 1:1:1:1.105451:1.105451:1.105451$			
理論値	$(= 1:1:1:1.105455:1.105455:1.105455)$			

表 3.34  $(\bar{S}) = (C-K)_1 + (C-K)_2$  の計算表 $D = 399.483$ 

線形 諸要素	$(UR, C-K)_1$	$(C-K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(C-K)_2$
道路交角	$\theta = 45^\circ 50' 00'' (= 0.799943)$		$\theta = 50^\circ 40' 00'' (= 0.884300)$	
接線角	$\tau = \theta / 4 = 11^\circ 27' 30''$		$\tau = \theta / 4 = 12^\circ 40' 00''$	
外線長	$g = 0.092918$	$G = 29.537$	$g = 0.115395$	$G = 33.183$
パラメーター	$l = 0.632433$	$A = 201.042$	$l = 0.664944$	$A = 191.213$
曲率半径	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 317.886$	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 287.562$
接線長	$d = 0.625293$	$D = 198.772$	$d = 0.697975$	$D = 200.711$
クロソイド長	$l^2 = 0.399972$	$L = 127.146$	$l^2 = 0.442150$	$L = 127.146$
単曲線長	$lC = 0.399972$	$LC = 127.146$	$lC = 0.442150$	$LC = 127.146$
曲線長	$Cl = 1.199915$	$CL = 381.436$	$Cl = 1.326450$	$CL = 381.437$
移程量	$d = 0.006656$	$dR = 2.116$	$d = 0.008131$	$dR = 2.338$
接線角/道路交角	$\tau / \theta = 0.250000$		$\tau / \theta = 0.250000$	
単曲線長/クロソイド長	$lC / l^2 = 1.000000$		$lC / l^2 = 1.000000$	
クロソイド長/接線長	$k_1 = 0.639655$		$k_2 = 0.633475$	
$\theta_2 / \theta_1 = 1.105455$	$(\theta_2 / \theta_1)^{1/2} = 1.051406$	$A_1 / A_2 = 1.051403$	$R_1 / R_2 = 1.105452$	$L_2 / L_1 = 1.000000$
6つの曲線長の比	$L_1 : LC_1 : L_1 : L_2 : LC_2 : L_2 = 127.146 : 127.146 : 127.146 : 127.146 : 127.146 : 127.146$ $= 1 : 1 : 1 : 1 : 1 : 1$			
理論値	$(= 1 : 1 : 1 : 1 : 1 : 1)$			

表 3.35  $(S) = (C-K)_1 + (C-K)_2$  の計算表 $D = 399.483$ 

線形 諸要素	$(UR, C-K)_1$	$(C-K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(C-K)_2$
道路交角	$\theta = 45^\circ 50' 00'' (= 0.799943)$		$\theta = 50^\circ 40' 00'' (= 0.884300)$	
接線角	$\tau = (\theta_1 + \theta_2) / 8 = 12^\circ 03' 45''$		$\tau = (\theta_1 + \theta_2) / 8 = 12^\circ 03' 45''$	
外線長	$g = 0.093698$	$G = 28.288$	$g = 0.114558$	$G = 34.585$
パラメーター	$l = 0.648892$	$A = 195.902$	$l = 0.648892$	$A = 195.902$
曲率半径	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 301.903$	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 301.903$
接線長	$d = 0.636097$	$D = 192.039$	$d = 0.687121$	$D = 207.444$
クロソイド長	$l^2 = 0.421061$	$L = 127.119$	$l^2 = 0.421061$	$L = 127.119$
単曲線長	$lC = 0.378882$	$LC = 114.385$	$lC = 0.463239$	$LC = 139.853$
曲線長	$Cl = 1.221004$	$CL = 368.624$	$Cl = 1.305361$	$CL = 394.092$
移程量	$d = 0.007375$	$dR = 2.227$	$d = 0.007375$	$dR = 2.227$
接線角/道路交角	$\tau / \theta = 0.263182$		$\tau / \theta = 0.238076$	
単曲線長/クロソイド長	$lC / l^2 = 0.899827$		$lC / l^2 = 1.100171$	
パラメーター/接線長	$k_1 = 1.020115$		$k_2 = 0.944364$	
$\theta_2 / \theta_1 = 1.105455$	$(\theta_2 / \theta_1)^{1/2} = 1.051406$	$A_2 / A_1 = 1.000000$	$R_1 / R_2 = 1.000000$	$L_2 / L_1 = 1.000000$
6つの曲線長の比	$L_1 : LC_1 : L_1 : L_2 : LC_2 : L_2 = 127.119 : 114.385 : 127.119 : 127.119 : 139.853 : 127.119$ $= 1 : 0.899826 : 1 : 1 : 1.100174 : 1$			
理論値	$(= 1 : 0.899828 : 1 : 1 : 1.100172 : 1)$			

表 3.36  $(S) = (K)_1 + (C-K)_2$  の計算表 $D = 145.210$ 

線形要素	$(UR, K)_1$	$(K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(C-K)_2$
道路交角	$\theta = 30^\circ 42' 00'' (= 0.535816)$		$\theta = 56^\circ 36' 00'' (= 0.987856)$	
接線角	$\tau = \theta / 2 = 15^\circ 21' 00''$		$\tau = \theta / 4 = 14^\circ 09' 00''$	
外線長	$g = 0.049366$	$G = 5.239$	$g = 0.147268$	$G = 16.279$
パラメーター	$l = 0.731995$	$A = 77.685$	$l = 0.702800$	$A = 77.685$
曲率半径	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 106.128$	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 110.537$
接線長	$d = 0.545051$	$D = 57.845$	$d = 0.790369$	$D = 87.365$
クロソイド長	$l^2 = 0.535816$	$L = 56.865$	$l^2 = 0.493928$	$L = 54.597$
単曲線長	$lC = 0$	$LC = 0$	$lC = 0.493928$	$LC = 54.597$
曲線長	$Cl = 1.071632$	$CL = 113.730$	$Cl = 1.481784$	$CL = 163.792$
移程量	$\Delta = 0.011932$	$\Delta R = 1.266$	$\Delta = 0.010143$	$\Delta R = 1.121$
接線角/道路交角	$\tau / \theta = 0.500000$		$\tau / \theta = 0.250000$	
単曲線長/クロソイド長	$lC / l^2 = 0$		$lC / l^2 = 1.000000$	
パラメーター/接線長	$k_1 = 1.342984$		$k_1 = 0.889205$	
$\theta_2 / 2 \theta_1 = 0.921824$	$(\theta_2 / 2 \theta_1)^{1/2} = 0.960117$	$A_2 / A_1 = 1.000000$	$R_1 / R_2 = 0.960113$	$L_2 / L_1 = 0.960116$
5つの曲線長の比	$L_1 : L_1 : L_2 : LC_2 : L_2 = 56.865 : 56.865 : 54.597 : 54.597 : 54.597$ $= 1 : 1 : 0.960116 : 0.960116 : 0.960116$			
理論値	$(= 1 : 1 : 0.960117 : 0.960117 : 0.960117)$			

表 3.37  $(\bar{S}) = (K)_1 + (C-K)_2$  の計算表 $D = 145.210$ 

線形要素	$(UR, K)_1$	$(K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(C-K)_2$
道路交角	$\theta = 30^\circ 42' 00'' (= 0.535816)$		$\theta = 56^\circ 36' 00'' (= 0.987856)$	
接線角	$\tau = \theta / 2 = 15^\circ 21' 00''$		$\tau = \theta / 4 = 14^\circ 09' 00''$	
外線長	$g = 0.049366$	$G = 5.368$	$g = 0.147268$	$G = 16.014$
パラメーター	$l = 0.731995$	$A = 79.595$	$l = 0.702800$	$A = 76.421$
曲率半径	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 108.737$	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 108.737$
接線長	$d = 0.545051$	$D = 59.267$	$d = 0.790369$	$D = 85.943$
クロソイド長	$l^2 = 0.535816$	$L = 58.263$	$l^2 = 0.493928$	$L = 53.708$
単曲線長	$lC = 0$	$LC = 0$	$lC = 0.493928$	$LC = 53.708$
曲線長	$Cl = 1.071632$	$CL = 116.526$	$Cl = 1.481784$	$CL = 161.125$
移程量	$\Delta = 0.011932$	$\Delta R = 1.297$	$\Delta = 0.010143$	$\Delta R = 1.103$
接線角/道路交角	$\tau / \theta = 0.500000$		$\tau / \theta = 0.250000$	
単曲線長/クロソイド長	$lC / l^2 = 0$		$lC / l^2 = 1.000000$	
— / 接線長	$k_1 = —$		$k_2 = —$	
$\theta_2 / 2 \theta_1 = 0.921824$	$(\theta_2 / 2 \theta_1)^{1/2} = 0.960117$	$A_2 / A_1 = 0.960123$	$R_1 / R_2 = 1.000000$	$L_2 / L_1 = 0.921820$
5つの曲線長の比	$L_1 : L_1 : L_2 : LC_2 : L_2 = 58.263 : 58.263 : 53.708 : 53.708 : 53.708$ $= 1 : 1 : 0.921820 : 0.921820 : 0.921820$			
理論値	$(= 1 : 1 : 0.921824 : 0.921824 : 0.921824)$			

表 3.38  $(\bar{S}) = (K)_1 + (C-K)_2$  の計算表 $D = 145.210$ 

線形要素	$(UR, K)_1$	$(K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(C-K)_2$
道路交角	$\theta = 30^\circ 42' 00'' (= 0.535816)$		$\theta = 56^\circ 36' 00'' (= 0.987856)$	
接線角	$\tau = \theta/2 = 15^\circ 21' 00''$		$\tau = \theta/4 = 14^\circ 09' 00''$	
外線長	$g = 0.049366$	$G = 5.111$	$g = 0.147268$	$G = 16.541$
パラメーター	$l = 0.731995$	$A = 75.791$	$l = 0.702800$	$A = 78.939$
曲率半径	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 103.540$	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 112.321$
接線長	$d = 0.545051$	$D = 56.435$	$d = 0.790369$	$D = 88.775$
クロソイド長	$l^2 = 0.535816$	$L = 55.479$	$l^2 = 0.493928$	$L = 55.479$
単曲線長	$lC = 0$	$LC = 0$	$lC = 0.493928$	$LC = 55.479$
曲線長	$Cl = 1.071632$	$CL = 110.957$	$Cl = 1.481784$	$CL = 166.436$
移程量	$\Delta = 0.011932$	$\Delta R = 1.235$	$\Delta = 0.010143$	$\Delta R = 1.139$
接線角/道路交角	$\tau/\theta = 0.500000$		$\tau/\theta = 0.250000$	
単曲線長/クロソイド長	$lC/l^2 = 0$		$lC/l^2 = 1.000000$	
クロソイド長/接線長	$k_1 = 0.983057$		$k_2 = 0.624933$	
$\theta_2/2\theta_1 = 0.921824$	$(\theta_2/2\theta_1)^{1/2} = 0.960117$	$A_1/A_2 = 0.960121$	$R_1/R_2 = 0.921822$	$L_2/L_1 = 1.000000$
5つの曲線長の比	$L_1 : L_1 : L_2 : LC_2 : L_2 : 55.479 : 55.479 : 55.479 : 55.479 : 55.479$ $= 1 : 1 : 1 : 1 : 1$			
理論値	$(= 1 : 1 : 1 : 1 : 1)$			

表 3.39  $(S) = (K)_1 + (C-K)_2$  の計算表 $D = 145.210$ 

線形要素	$(UR, K)_1$	$(K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(C-K)_2$
道路交角	$\theta = 30^\circ 42' 00'' (= 0.535816)$		$\theta = 56^\circ 36' 00'' (= 0.987856)$	
接線角	$\tau = \theta_1/2 = 15^\circ 21' 00''$		$\tau = \theta_1/2 = 15^\circ 21' 00''$	
外線長	$g = 0.049366$	$G = 5.282$	$g = 0.149300$	$G = 15.974$
パラメーター	$l = 0.731995$	$A = 78.318$	$l = 0.731995$	$A = 78.318$
曲率半径	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 106.993$	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 106.993$
接線長	$d = 0.545051$	$D = 58.317$	$d = 0.812138$	$D = 86.893$
クロソイド長	$l^2 = 0.535816$	$L = 57.329$	$l^2 = 0.535817$	$L = 57.329$
単曲線長	$lC = 0$	$LC = 0$	$lC = 0.452039$	$LC = 48.365$
曲線長	$Cl = 1.071632$	$CL = 114.657$	$Cl = 1.523673$	$CL = 163.023$
移程量	$\Delta = 0.011932$	$\Delta R = 1.277$	$\Delta = 0.011932$	$\Delta R = 1.277$
接線角/道路交角	$\tau/\theta = 0.500000$		$\tau/\theta = 0.271201$	
単曲線長/クロソイド長	$lC/l^2 = 0$		$lC/l^2 = 0.843644$	
パラメーター/接線長	$k_1 = 1.342984$		$k_2 = 0.901318$	
$\theta_2/2\theta_1 = 0.921824$	$(\theta_2/2\theta_1)^{1/2} = 0.960117$	$A_2/A_1 = 1.000000$	$R_2/R_1 = 1.000000$	$L_2/L_1 = 1.000000$
5つの曲線長の比	$L_1 : L_1 : L_2 : LC_2 : L_2 : 57.329 : 57.329 : 57.329 : 48.365 : 57.329$ $= 1 : 1 : 1 : 0.843639 : 1$			
理論値	$(= 1 : 1 : 1 : 0.843648 : 1)$			

表 3.40  $(S) = (K)_1 + (C-K)_2$  の計算表 $D = 399.483$ 

線 形	$(UR, K)_1$	$(K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(C-K)_2$
諸 要 素				
道 路 交 角	$\theta = 32^\circ 10' 00'' (= 0.561414)$		$\theta = 64^\circ 20' 00'' (= 1.122828)$	
接 線 角	$\tau = \theta_2 / 2 = 16^\circ 05' 00''$		$\tau = \theta_1 / 4 = 16^\circ 05' 00''$	
外 線 長	$g = 0.054364$	$G = 14.583$	$g = 0.196801$	$G = 52.793$
パ ラ メ ー タ ー	$l = 0.749276$	$A = 200.996$	$l = 0.749276$	$A = 200.996$
曲 率 半 径	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 268.254$	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 268.254$
接 線 長	$d = 0.572067$	$D = 153.459$	$d = 0.917129$	$D = 246.024$
ク ロ ソ イ ド 長	$l^2 = 0.561414$	$L = 150.602$	$l^2 = 0.561414$	$L = 150.602$
単 曲 線 長	$lC = 0$	$LC = 0$	$lC = 0.561414$	$LC = 150.602$
曲 線 長	$Cl = 1.122828$	$CL = 301.203$	$Cl = 1.684242$	$CL = 451.805$
移 程 量	$\Delta = 0.013096$	$\Delta R = 3.513$	$\Delta = 0.013096$	$\Delta R = 3.513$
接線角/道路交角	$\tau / \theta = 0.500000$		$\tau / \theta = 0.250000$	
単曲線長/クロソイド長	$lC / l^2 = 0$		$lC / l^2 = 1.000000$	
パラメーター/接線長	$k_1 = 1.309770$		$k_2 = 0.816980$	
$\theta_2 / \theta_1 = 2.000000$	$(\theta_2 / \theta_1)^{1/2} = 1.414214$	$A_2 / A_1 = 1.000000$	$R_1 / R_2 = 1.000000$	$L_2 / L_1 = 1.000000$
5 つの曲線長の比	$L_1 : L_1 : L_2 : LC_2 : L_2 = 150.602 : 150.602 : 150.602 : 150.602 : 150.602$ $= 1 : 1 : 1 : 1 : 1$			
理 論 値	$(= 1 : 1 : 1 : 1 : 1)$			

表 3.41  $(S) = (K)_1 + (K)_2$  の計算表 $D = 136.230$ 

線 形	$(UR, K)_1$	$(K)_1$	$(UR, K)_2$	$(K)_2$
諸 要 素				
道 路 交 角	$\theta = 24^\circ 55' 00'' (= 0.434878)$		$\theta = 30^\circ 42' 00'' (= 0.535816)$	
接 線 角	$\tau = \theta / 2 = 12^\circ 27' 30''$		$\tau = \theta / 2 = 15^\circ 21' 00''$	
外 線 長	$g = 0.032171$	$G = 4.708$	$g = 0.049366$	$G = 6.509$
パ ラ メ ー タ ー	$l = 0.659453$	$A = 96.516$	$l = 0.731995$	$A = 96.516$
曲 率 半 径	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 146.358$	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 131.853$
接 線 長	$d = 0.439767$	$D = 64.363$	$d = 0.545051$	$D = 71.867$
ク ロ ソ イ ド 長	$l^2 = 0.434878$	$L = 63.648$	$l^2 = 0.535816$	$L = 70.649$
単 曲 線 長	$lC = 0$	$LC = 0$	$lC = 0$	$LC = 0$
曲 線 長	$Cl = 0.869756$	$CL = 127.295$	$Cl = 1.071632$	$CL = 141.298$
移 程 量	$\Delta = 0.007867$	$\Delta R = 1.151$	$\Delta = 0.011932$	$\Delta R = 1.573$
接線角/道路交角	$\tau / \theta = 0.500000$		$\tau / \theta = 0.500000$	
単曲線長/クロソイド長	$lC / l^2 = 0$		$lC / l^2 = 0$	
パラメーター/接線長	$k_1 = 1.499551$		$k_2 = 1.342984$	
$\theta_2 / \theta_1 = 1.232107$	$(\theta_2 / \theta_1)^{1/2} = 1.110003$	$A_2 / A_1 = 1.000000$	$R_1 / R_2 = 1.110009$	$L_2 / L_1 = 1.109996$
4 つの曲線長の比	$L_1 : L_1 : L_2 : L_2 = 63.648 : 63.648 : 70.649 : 70.649$ $= 1 : 1 : 1.109996 : 1.109996$			
理 論 値	$(= 1 : 1 : 1.110003 : 1.110003)$			

表 3.42  $(\bar{S}) = (K)_1 + (K)_2$  の計算表 $D = 136.230$ 

線形要素	$(UR, K)_1$	$(K)_2$	$(UR, K)_2$	$(K)_2$
道路交角	$\theta = 24^\circ 55' 00'' (= 0.434878)$		$\theta = 30^\circ 42' 00'' (= 0.535816)$	
接線角	$\tau = \theta/2 = 12^\circ 27' 30''$		$\tau = \theta/2 = 15^\circ 21' 00''$	
外線長	$g = 0.032171$	$G = 4.450$	$g = 0.049366$	$G = 6.829$
パラメーター	$l = 0.659453$	$A = 91.222$	$l = 0.731995$	$A = 101.257$
曲率半径	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 138.330$	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 138.330$
接線長	$d = 0.439767$	$D = 60.833$	$d = 0.545051$	$D = 75.397$
クロソイド長	$l^2 = 0.434878$	$L = 60.157$	$l^2 = 0.535816$	$L = 74.119$
単曲線長	$LC = 0$	$LC = 0$	$LC = 0$	$LC = 0$
曲線長	$Cl = 0.869756$	$CL = 120.313$	$Cl = 1.071632$	$CL = 148.239$
移程量	$\Delta = 0.007867$	$\Delta R = 1.088$	$\Delta = 0.011932$	$\Delta R = 1.651$
接線角/道路交角	$\tau/\theta = 0.500000$		$\tau/\theta = 0.500000$	
単曲線長/クロソイド長	$LC/l^2 = 0$		$LC/l^2 = 0$	
—/接線長	$k_1 = \infty$		$k_2 = \infty$	
$\theta_2/\theta_1 = 1.232107$	$(\theta_2/\theta_1)^{1/2} = 1.110003$	$A_2/A_1 = 1.110006$	$R_1/R_2 = 1.000000$	$L_2/L_1 = 1.232093$
4つの曲線長の比	$L_1 : L_1 : L_2 : L_2 = 60.157 : 60.157 : 74.119 : 74.119$ $= 1 : 1 : 1.232093 : 1.232093$			
理論値	$(= 1 : 1 : 1.232107 : 1.232107)$			

表 3.43  $(\bar{S}) = (K)_1 + (K)_2$  の計算表 $D = 136.230$ 

線形要素	$(UR, K)_1$	$(K)_1$	$(UR, K)_2$	$(K)_2$
道路交角	$\theta = 24^\circ 55' 00'' (= 0.434878)$		$\theta = 30^\circ 42' 00'' (= 0.535816)$	
接線角	$\tau = \theta/2 = 12^\circ 27' 30''$		$\tau = \theta/2 = 15^\circ 21' 00''$	
外線長	$g = 0.032171$	$G = 4.968$	$g = 0.049366$	$G = 6.187$
パラメーター	$l = 0.659453$	$A = 101.840$	$l = 0.731995$	$A = 91.748$
曲率半径	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 154.431$	$\bar{r} = 1.000000$	$R = 125.339$
接線長	$d = 0.439767$	$D = 67.914$	$d = 0.545051$	$D = 68.316$
クロソイド長	$l^2 = 0.434878$	$L = 67.159$	$l^2 = 0.535816$	$L = 67.159$
単曲線長	$LC = 0$	$LC = 0$	$LC = 0$	$LC = 0$
曲線長	$Cl = 0.869756$	$CL = 134.318$	$Cl = 1.071632$	$CL = 134.317$
移程量	$\Delta = 0.007867$	$\Delta R = 1.215$	$\Delta = 0.011932$	$\Delta R = 1.496$
接線角/道路交角	$\tau/\theta = 0.500000$		$\tau/\theta = 0.500000$	
単曲線長/クロソイド長	$LC/l^2 = 0$		$LC/l^2 = 0$	
クロソイド長/接線長	$k_1 = 0.988883$		$k_1 = 0.983057$	
$\theta_2/\theta_1 = 1.232107$	$(\theta_2/\theta_1)^{1/2} = 1.110003$	$A_1/A_2 = 1.109997$	$R_1/R_2 = 1.232107$	$L_2/L_1 = 1.000000$
4つの曲線長の比	$L_1 : L_1 : L_2 : L_2 = 67.159 : 67.159 : 67.159 : 67.159$ $= 1 : 1 : 1 : 1$			
理論値	$(= 1 : 1 : 1 : 1)$			

ハ)  $\theta_2/\theta_1$ ,  $(\theta_2/\theta_1)^{1/2}$ ,  $\theta_2/2\theta_1$ ,  $(\theta_2/2\theta_1)^{1/2}$ : 計算条件として与えられた  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  から求めた値であり, この値は理論値である.

ニ) 2つの要素の比: たとえば  $A_2/A_1$  は, 計算の結果による  $A_1$ ,  $A_2$  の値から求めた値である. したがって, 一般にハ) とニ) の差は計算誤差である.

ホ) 4~6つの曲線長の比: 計算の結果による曲線長から求めた曲線長の比率を示す.

ヘ) 理論値: 表 3.22~3.26 に示した公式から求めた値を示す. したがって, ホ) とヘ) の差は計算誤差である.

ト) 計算誤差: 計算結果の桁数が少ない程, 計算誤差は大きくなる.

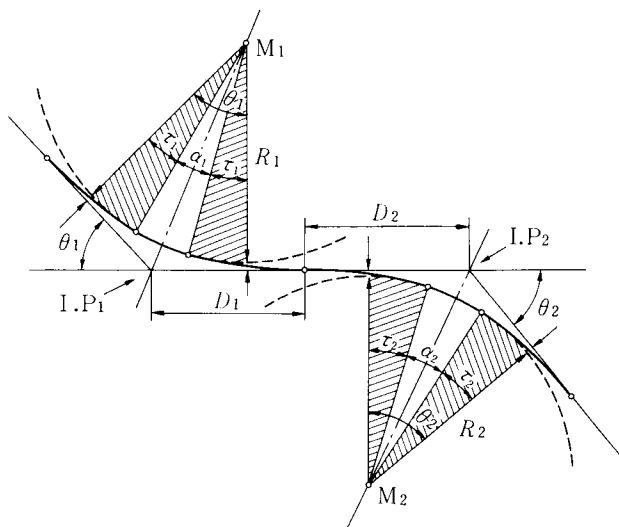


図 3.7  $(S) = (C-K)_1 + (C-K)_2$  ( $\tau = \theta/3$ )

### 3.8 曲線長を制御する解法

S形は, 4~6つの線形要素から成立している. これらの線形要素の曲線長に任意の比率  $1:a:b:c:d:e$  を与えて, S形を求める解法について述べよう. この解法は, 次の3つの方法を用いている.

イ)  $(C=K)$  における3つの曲線長の比率を,  $1:a:b$  とすると,  $\tau_1/\theta = 1/(2a+b+1)$ ,  $\tau_2/\theta = b/(2a+b+1)$  となる. したがって,  $(K-\bar{K})$  における2つの曲線長の比率を  $1:a$  とすると,  $\tau_1/\theta = 1/(a+1)$ ,  $\tau_2/\theta = a/(a+1)$  となる (表 2.43 参照).

ロ) 3.3.1のS形の計算法.

ハ) 表 3.4の公式.

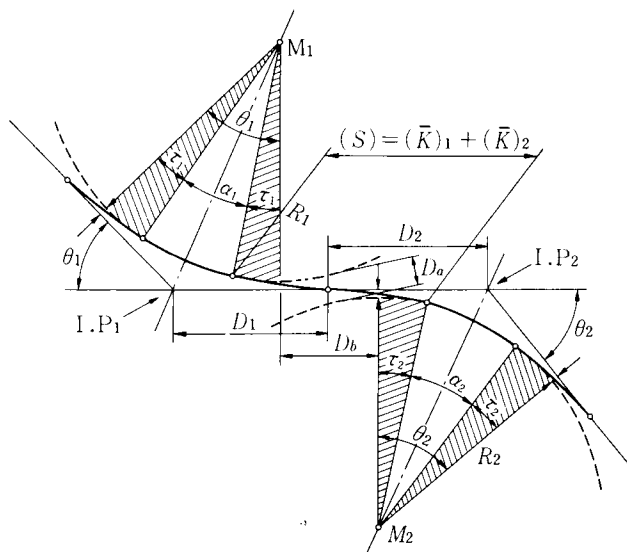


図 3.8  $(S) = (C-K)_1 + (C-K)_2$  ( $\tau = \theta/4$ )

表 3.44 任意の比率を与えて求めるS形の平面線形

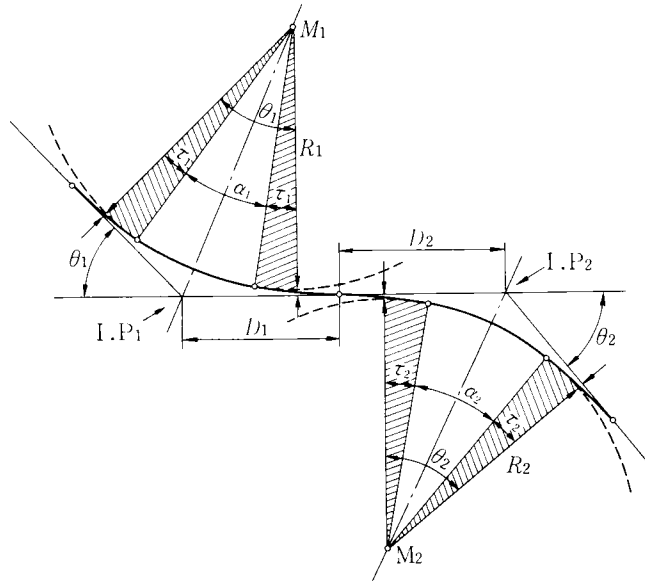
S 形の平面線形	度	C	線形要素と任意の比
$(\bar{S}) = (C=K)_1 + (C=K)_2$	8	6	$L_{11} : LC_1 : L_{12} : L_{21} : LC_2 : L_{22}$
$(S) = (C=K)_1 + (C=K)_2$	7		$= 1 : a : b : c : d : e$
$(\bar{S}) = (K-\bar{K})_1 + (C=K)_2$	7	5	$L_{11} : L_{12} : L_{21} : LC_2 : L_{22}$
$(S) = (K-\bar{K})_1 + (C=K)_2$	6		$= 1 : a : b : c : d$
$(\bar{S}) = (C=K)_1 + (K-\bar{K})_2$	7	5	$L_{11} : LC_1 : L_{12} : L_{21} : L_{22}$
$(S) = (C=K)_1 + (K-\bar{K})_2$	6		$= 1 : a : b : c : d$
$(\bar{S}) = (K-\bar{K})_1 + (K-\bar{K})_2$	6	4	$L_{11} : L_{12} : L_{21} : L_{22}$
$(S) = (K-\bar{K})_1 + (K-\bar{K})_2$	5		$= 1 : a : b : c$

注) 度の欄にはS形の自由度を, そして, Cの欄には線形要素の数を示す.

曲線長に任意の比を与えることとすると, 4つの線形要素から成立するS形は,  $(K-\bar{K})_1 + (K-\bar{K})_2$  である. 5つの線形要素から成立するS形は,  $(K-\bar{K})_1 + (C=K)_2$  と  $(C=K)_1 + (K-\bar{K})_2$  である. そして, 6つの線形要素から成立するS形は,  $(C=K)_1 + (C=K)_2$  である. これら4種類のS形について, 式  $A_{12} = A_{21}$  が成立しない場合のS形すなわち  $(\bar{S}) = (Y)_1 + (Y)_2$  と式  $A_{12} = A_{21}$  が成立する場合のS形すなわち  $(S) = (Y)_1 + (Y)_2$  の計算法は, 次のようである(表3.44参照).

### 3.8.1 6つの線形要素から成立するS形の計算法

S形  $(C=K)_1 + (C=K)_2$  における6つの線形要素の曲線長  $L_{11}$ ,  $LC_1$ ,  $L_{12}$ ,  $L_{21}$ ,  $LC_2$ ,  $L_{22}$  が, 任意の比率  $1 : a : b : c : d : e$  となるように, S形を求める計算法について述べよう.

図 3.9  $(S) = (C-K)_1 + (C-K)_2$  ( $\tau = \theta/5$ )



(I)  $(\bar{S}) = (C=K)_1 + (C=K)_2$  の計

#### 算法

主測線の長さ  $D$ , 2つの道路交角  $\theta_1, \theta_2$ , および6つの線形要素の曲線長の比率  $1 : a : b : c : d : e$  を与えて,  $(\bar{S}) = (C=K)_1 + (C=K)_2$  を求める計算法は, 次のようである.

イ) 接線  $\tau_{11}, \tau_{12}$  の計算

$(C=K)_1$  における3つの線形要素の曲線長  $L_{11}, LC_1, L_{12}$  の比率が  $1 : a : b$  となるように, 式  $\tau_{11} = \theta_1/m_1, \tau_{12} = \theta_1/m_2$  における係数  $m_1, m_2$  を次式から求め, そして接線角  $\tau_{11}, \tau_{12}$  を求める.

$$m_1 = 2a + b + 1,$$

$$m_2 = (2a + b + 1)/b$$

ロ) 係数  $n_1, n_2$  の計算

$(C=K)_2$  における3つの線形要素の曲線長  $L_{21}, LC_2, L_{22}$  の比率が,  $1 : (d/c) : (e/c)$  となるように, 式  $\tau_{21} = \theta_2/n_1, \tau_{22} = \theta_2/n_2$  における係数  $n_1, n_2$  を次式から求める.

$$n_1 = (2d + e + c)/c,$$

$$n_2 = (2d + e + c)/e$$

ハ)  $\tau_{21}, \tau_{22}$  の計算

式  $\tau_{21} = \theta_2/n_1, \tau_{22} = \theta_2/n_2$  から

$\tau_{21}, \tau_{22}$  を求める.

ニ) 単位平面線形の計算

$\theta_1, \tau_{11}, \tau_{12}$  から  $(UR, C=K)_1$  を,  $\theta_2, \tau_{21}, \tau_{22}$  から  $(UR, C=K)_2$  を求める.

ホ)  $R_1, R_2$  の計算

$$\text{式 } R_1 = \bar{D}_{12}/\bar{d}_{12}, R_2 = \bar{D}_{21}/\bar{d}_{21}$$

から  $R_1, R_2$  を求める.

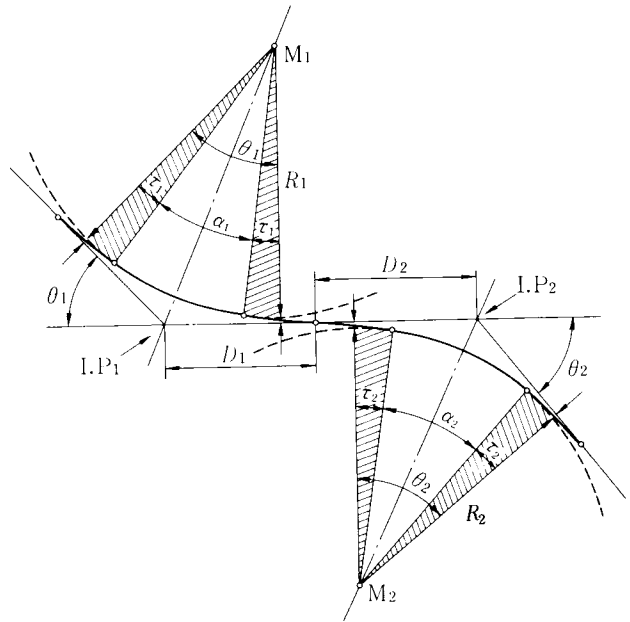


図 3.10  $(S) = (C-K)_1 + (C-K)_2$  ( $\tau = \theta/6$ )

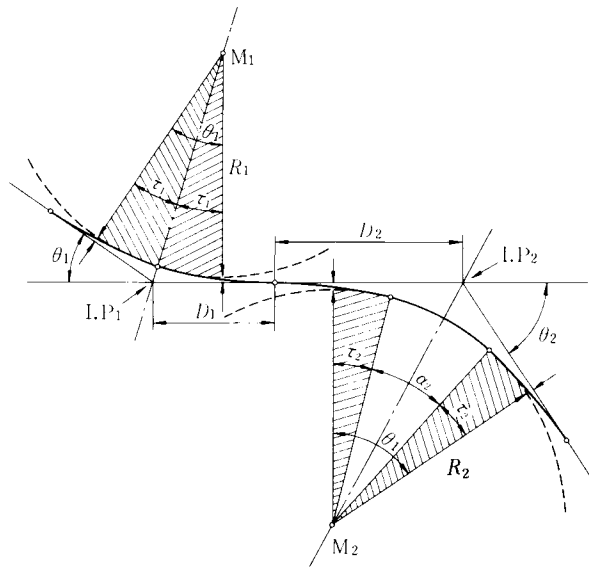


図 3.11  $(S) = (K)_1 + (C-K)_2$

ただし,  $\bar{D}_{12}=D/[1+N$   
 $(k_1/k_2)]$ ,  $\bar{D}_{21}=D/[1+$   
 $(1/N)(k_2/k_1)]$ ,  $N=$   
 $c/b$ ,  $k_1=l_{12}^2/\bar{d}_{12}$ ,  $k_2=$   
 $l_{12}^2/\bar{d}_{21}$  である.

へ)  $(C=K)_1$ ,  $(C=K)_2$

の計算

式  $(C=K)_1=R_1$  (UR,  
 $C=K)_1$ ,  $(C=K)_2=R_2$   
 $(UR, C=K)_2$  から,  $(C$   
 $=K)_1$ ,  $(C=K)_2$  を求める  
と,  $L_{11}$ ,  $LC_1$ ,  $L_{12}$ ,  $L_{21}$ ,  
 $LC_2$ ,  $L_{22}$  の比率は, 1 :  
 $a:b:c:d:e$  となっ  
ている.

(2)  $(S) = (C=K)_1 +$

$(C=K)_2$  の計算法

主測線の長さ  $D$ , 道路交  
角  $\theta_1$  および 6 つの線形要素

の曲線長の比率 1 :  $a:b:c:d:e$  を与えて  $(S) = (C=K)_1 + (C=K)_2$  を求める計算法は, 3.  
8.1.1 に示した  $(\bar{S})$  の計算法イ) ~ へ) のうち, ハ), ホ) を次のように読みかえるとよい.

ハ)  $\theta_2$ ,  $\tau_{21}$ ,  $\tau_{22}$  の計算

式  $m_1[\theta_2/(\theta_1 \cdot m_2 \cdot n_1)]^{1/2} = c$  から  $\theta_2$  を, そして式  $\tau_{21} = \theta_2/n_1$ ,  $\tau_{22} = \theta_2/n_2$  から  $\tau_{21}$ ,  $\tau_{22}$  を  
求める.

ホ)  $R_1$ ,  $R_2$  の計算

式  $R_1 = \bar{D}_{12}/\bar{d}_{12}$ ,  $R_2 = \bar{D}_{21}/\bar{d}_{21}$  から  $R_1$ ,  $R_2$  を求める. ただし,  $\bar{D}_{12} = D/[1+(k_1/k_2)]$ ,  $\bar{D}_{21} = D$   
 $/[1+(k_2/k_1)]$ ,  $k_1 = l_{12}/\bar{d}_{12}$ ,  $k_2 = l_{21}/\bar{d}_{21}$  である.

$(\bar{S}) = (C=K)_1 + (C=K)_2$  の自由度は 8 である. また  $(S) = (C=K)_1 + (C=K)_2$  の自由度は 7  
である. したがって, 8 つの計算条件  $D$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  と 6 つの線形要素の曲線長の比率 1 :  $a:b:c:d$   
:  $e$  を与えて,  $(\bar{S})$  を求めることはできる. しかし,  $(S)$  を求めることはできない.  $(S)$  は 7 つの計  
算条件すなわち  $D$ ,  $\theta_1$  (または  $\theta_2$ ) と 6 つの線形要素の曲線長の比率 1 :  $a:b:c:d:e$  を与え  
て, 求めることができる.

### 3.8.2 5つの線形要素から成立するS形の計算法(その1)

S 形  $(K-\bar{K})_1 + (C=K)_2$  における 5 つの線形要素の曲線長  $L_{11}$ ,  $L_{12}$ ,  $L_{21}$ ,  $LC_2$ ,  $L_{22}$  が, 任意の比  
率 1 :  $a:b:c:d$  となるように, S 形を求める計算法について述べよう.

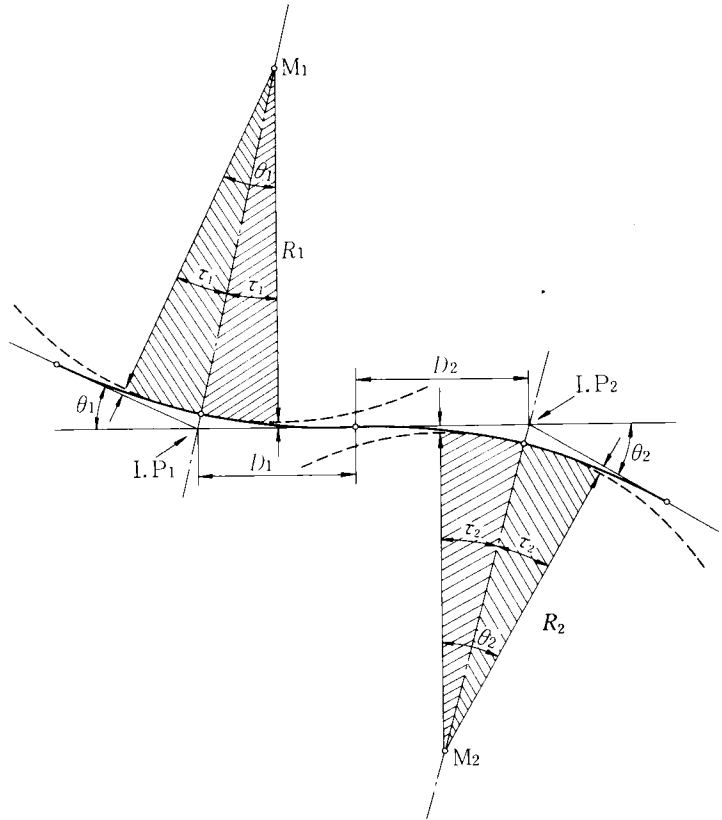


図 3.12  $(S) = (K)_1 + (K)_2$  ( $\tau = \theta/2$ )

(1)  $(\bar{S}) = (K - \bar{K})_1 + (C = K)_2$  の計算法

主測線の長さ  $D$ , 2つの道路交角  $\theta_1, \theta_2$ , および5つの線形要素の曲線長の比率  $1 : a : b : c : d$  を与えて,  $(\bar{S}) = (K - \bar{K})_1 + (C = K)_2$  を求める計算法は, 次のようである.

イ) 接線角  $\tau_{11}, \tau_{12}$  の計算

$(K - \bar{K})_1$  における2つの線形要素の曲線長  $L_{11}, L_{12}$  の比率が  $1 : a$  となるように, 式  $\tau_{11} = \theta_1 / m_1, \tau_{12} = \theta_1 / m_2$  における係数  $m_1, m_2$  を次式から求め, そして, 接線角  $\tau_{11}, \tau_{12}$  を求める.

$$m_1 = a + 1, \quad m_2 = (a + 1) / a$$

ロ) 係数  $n_1, n_2$  の計算

$(C = K)_2$  における3つの線形要素の曲線長  $L_{21}, L_{22}, L_{23}$  の比率が  $1 : (c/b) : (d/b)$  となるように式  $\tau_{21} = \theta_2 / n_1, \tau_{22} = \theta_2 / n_2$  における係数  $n_1, n_2$  を次式から求める.

$$n_1 = (2c + d - b) / d, \quad n_2 = (2c + d + b) / d$$

ハ)  $\tau_{21}, \tau_{22}$  の計算

式  $\tau_{21} = \theta_2 / n_1, \tau_{22} = \theta_2 / n_2$  から  $\tau_{21}, \tau_{22}$  を求める.

ニ) 単位平面線形の計算

$\theta_1, \tau_{11}, \tau_{12}$  から  $(UR, K - \bar{K})_1$  を,  $\theta_2, \tau_{21}, \tau_{22}$  から  $(UR, C = K)_2$  を求める.

ホ)  $R_1, R_2$  の計算

式  $R_1 = \bar{D}_{12} / \bar{d}_{12}, R_2 = \bar{D}_{21} / \bar{d}_{21}$  から  $R_1, R_2$  を求める. ただし,  $\bar{D}_{12} = D / [1 + N(k_1 / k_2)], \bar{D}_{21} = D / [1 + (1/N)(k_2 / k_1)], N = b/a, k_1 = l_{12}^2 / \bar{d}_{12}, k_2 = l_{12}^2 / \bar{d}_{21}$  である.

ヘ)  $(K - \bar{K})_1, (C = K)_2$  の計算

式  $(K - \bar{K})_1 = R_1 (UR, K - \bar{K})_1, (C = K)_2 = R_2 (UR, C = K)_2$  から  $(K - \bar{K})_1, (C = K)_2$  を求めると  $L_{11}, L_{12}, L_{21}, L_{22}$  の比率は  $1 : a : b : c : d$  となっている.

(2)  $(\bar{S}) = (C = K)_1 + (K - \bar{K})_2$  の計算法

主測線の長さ  $D$ , 道路交角  $\theta_1$ , および5つの線形要素の曲線長の比率  $1 : a : b : c : d$  を与えて,  $(\bar{S}) = (C = K)_1 + (K - \bar{K})_2$  を求める計算法は, 3.8.2.1に示した  $(\bar{S})$  の計算法イ) ~ ヘ) のうちヘ), ホ) を 3.8.1.2 のハ), ホ) のように読みかえるとよい. ただし, ハ) の  $c$  は  $b$  である.

### 3.8.3 5つの線形要素から成立するS形の計算法(その2)

S形  $(C = K)_1 + (K - \bar{K})_2$  における5つの線形要素の曲線長  $L_{11}, L_{12}, L_{21}, L_{22}$  が, 任意の比率  $1 : a : b : c : d$  となるように, S形を求める計算法について述べよう.

(1)  $(\bar{S}) = (C = K)_1 + (K - \bar{K})_2$  の計算法

主測線の長さ  $D$ , 2つの道路交角  $\theta_1, \theta_2$ , および5つの線形要素の比率  $1 : a : b : c : d$  を与えて,  $(\bar{S}) = (C = K)_1 + (K - \bar{K})_2$  を求める計算法は, 次のようである.

イ) 接線角  $\tau_{11}, \tau_{12}$  の計算

$(C = K)_1$  における3つの線形要素の曲線長  $L_{11}, L_{12}, L_{13}$  の比率が  $1 : a : b$  となるように式  $\tau_{11} = \theta_1 / m_1, \tau_{12} = \theta_1 / m_2$  における係数  $m_1, m_2$  を次式から求め, そして, 接線角  $\tau_{11}, \tau_{12}$  を求める.

$$m_1 = 2a + b + 1, \quad m_2 = (2a + b + 1) / b$$

ロ) 係数  $n_1, n_2$  の計算

$(K-\bar{K})_2$  における 2 つの線形要素の曲線長  $L_{21}, L_{22}$  の比率が  $1:(d/c)$  となるように式  $\tau_{21} = \theta_2/n_1, \tau_{22} = \theta_2/n_2$  における係数  $n_1, n_2$  を次式から求める.

$$n_1 = (d+c)/c, n_2 = (d+c)/d$$

ハ)  $\tau_{21}, \tau_{22}$  の計算

式  $\tau_{21} = \theta_2/n_1, \tau_{22} = \theta_2/n_2$  から,  $\tau_{21}, \tau_{22}$  を求める.

ニ) 単位平面線形の計算

$\theta_1, \tau_{11}, \tau_{12}$  から  $(UR, C=K)_1$  を,  $\theta_2, \tau_{21}, \tau_{22}$  から  $(UR, K-\bar{K})_2$  を求める.

ホ)  $R_1, R_2$  の計算

式  $R_1 = \bar{D}_{12}/\bar{d}_{12}, R_2 = \bar{D}_{21}/\bar{d}_{21}$  から  $R_1, R_2$  を求める. ただし,  $\bar{D}_{12} = D/[1+N(k_1/k_2)], \bar{D}_{21} = D/[1+(1/N)(k_2/k_1)], N=c/b, k_1 = l_{12}^2/\bar{d}_{12}, k_2 = l_{21}^2/\bar{d}_{21}$  である.

ヘ)  $(C=K)_1, (K-\bar{K})_2$  の計算

式  $(C=K)_1 = R_1(UR, C=K)_1, (K-\bar{K})_2 = R_2(UR, K-\bar{K})_2$  から  $(C=K)_1, (K-\bar{K})_2$  を求めると  $L_{11}, L_{C1}, L_{12}, L_{21}, L_{22}$  の比率は  $1:a:b:c:d$  となっている.

(2)  $(S) = (C=K)_1 + (K-\bar{K})_2$  の計算法

主測線の長さ  $D$ , 道路交角  $\theta_1$ , および 5 つの線形要素の曲線長の比率  $1:a:b:c:d$  を与えて,  $(S) = (C=K)_1 + (K-\bar{K})_2$  を求める計算法は, 3.8.3.1 に示した  $(\bar{S})$  の計算法イ)~ヘ)のうち, ハ), ホ) を 3.8.1.2 のハ), ホ) のように読みかえるとよい.

### 3.8.4 4 つの線形要素から成立する S 形の計算法

S 形  $(K-\bar{K})_1 + (K-\bar{K})_2$  における 4 つの線形要素の曲線長  $L_{11}, L_{12}, L_{21}, L_{22}$  が任意の比  $1:a:b:c$  となるように, S 形を求める計算法について述べよう.

イ)  $(\bar{S}) = (K-\bar{K})_1 + (K-\bar{K})_2$  の計算法

主測線の長さ  $D$ , 2 つの道路交角  $\theta_1, \theta_2$ , および 4 つの線形要素の曲線長の比率  $1:a:b:c$  を与えて,  $(\bar{S}) = (K-\bar{K})_1 + (K-\bar{K})_2$  を求める計算法は, 次のようである.

イ) 接線角  $\tau_{11}, \tau_{12}$  の計算

$(K-\bar{K})_1$  における 2 つの線形要素の曲線長  $L_{11}, L_{12}$  の比率が  $1:a$  となるように, 式  $\tau_{11} = \theta_1/m_1, \tau_{12} = \theta_1/m_2$  における係数  $m_1, m_2$  を次式から求め, そして, 接線角  $\tau_{11}, \tau_{12}$  を求める.

$$m_1 = a+1, m_2 = (a+1)/a$$

ロ) 係数  $n_1, n_2$  の計算

$(K-\bar{K})_2$  における 2 つの線形要素の曲線長  $L_{21}, L_{22}$  の比率が  $1:(c/b)$  となるように, 式  $\tau_{21} = \theta_2/n_1, \tau_{22} = \theta_2/n_2$  における係数  $n_1, n_2$  を次式から求める.

$$n_1 = (b+c)/b, n_2 = (b+c)/c$$

ハ)  $\tau_{21}, \tau_{22}$  の計算

式  $\tau_{21} = \theta_2/n_1, \tau_{22} = \theta_2/n_2$  から  $\tau_{21}, \tau_{22}$  を求める.

ニ) 単位平面線形の計算

$\theta_1, \tau_{11}, \tau_{12}$  から  $(UR, K-\bar{K})_1$  を,  $\theta_2, \tau_{21}, \tau_{22}$  から  $(UR, K-\bar{K})_2$  をそれぞれ求める.

ホ)  $R_1, R_2$  の計算

式  $R_1 = \bar{D}_{12} / \bar{d}_{12}, R_2 = \bar{D}_{21} / \bar{d}_{21}$  から  $R_1, R_2$  を求める. ただし,  $\bar{D}_{12} = D / [1 + N(k_1/k_2)], \bar{D}_{21} = D / [1 + (1+N)(k_2/k_1)], N = b/a, k_1 = l_{12}^2 / \bar{d}_{12}, k_2 = l_{21}^2 / \bar{d}_{21}$  である.

へ)  $(K-\bar{K})_1, (K-\bar{K})_2$  の計算

式  $(K-\bar{K})_1 = R_1 (UR, K-\bar{K})_1, (K-\bar{K})_2 = R_2 (UR, K-\bar{K})_2$  から  $(K-\bar{K})_1, (K-\bar{K})_2$  を求めると,  $L_{11}, L_{12}, L_{21}, L_{22}$  の比率は  $1:a:b:c$  となっている.

(2)  $(S) = (K-\bar{K})_1 + (K-\bar{K})_2$  の計算法

主測線の長さ  $D$ , 道路交角  $\theta_1$ , および4つの線形要素の曲線長の比率  $1:a:b:c$  を与えて,  $(S) = (K-\bar{K})_1 + (K-\bar{K})_2$  を求める計算法は, 3.8.4.1に示した $(\bar{S})$ の計算法イ)~へ)のうち, ハ), ホ)を3.8.1.2のハ), ホ)のように読みかえるとよい. ただし, ハ)の  $c$  は  $b$  である.

### 3.8.5 6つの線形要素から成立するS形の計算例

3.8.1に述べた2つの計算法を用いて, 2つの計算例を示そう.

(1)  $(\bar{S}) = (C=K)_1 + (C=K)_2$  の計算例(その1)

$D = 413.383 \text{ m}, \theta_1 = 41^\circ 04' 00'', \theta_2 = 81^\circ 32' 09.6'',$  および6つの線形要素の曲線長の比率  $L_{11}:LC_1:L_{12}:L_{21}:LC_2:L_{22} = 1:a:b:c:d:e = 1.0:1.1:1.2:1.3:1.4:1.5$  を与えて,  $(\bar{S}) = (C=K)_1 + (C=K)_2$  を求めよう.

〔解〕

イ) 接線角  $\tau_{11}, \tau_{12}$  の計算

$$m_1 = 2a + b + 1 = 2 \times 1.1 + 1.2 + 1 = 4.400000$$

$$m_2 = (2a + b + 1) / b = 4.400000 / 1.2 = 3.666667$$

であるから,

$$\tau_{11} = \theta_1 / m_1 = 41^\circ 04' 00'' / 4.400000 = 9^\circ 20' 00''$$

$$\tau_{12} = \theta_1 / m_2 = 41^\circ 04' 00'' / 3.666667 = 11^\circ 12' 00''$$

となる.

ロ) 係数  $n_1, n_2$  の計算

$$n_1 = (2d + e + c) / c = (2 \times 1.4 + 1.5 + 1.3) / 1.3 = 4.307692$$

$$n_2 = (2d + e + c) / e = (2 \times 1.4 + 1.5 + 1.3) / 1.5 = 3.733333$$

となる.

ハ)  $\tau_{21}, \tau_{22}$  の計算

$$\tau_{21} = \theta_2 / n_1 = 81^\circ 32' 09.6'' / 4.307692 = 18^\circ 55' 40.8''$$

$$\tau_{22} = \theta_2 / n_2 = 81^\circ 32' 09.6'' / 3.733333 = 21^\circ 50' 24.0''$$

となる.

ニ) 単位平面線形の計算

$\theta_1 = 41^\circ 04' 00'', \tau_{11} = 9^\circ 20' 00'', \tau_{12} = 11^\circ 12' 00''$  から  $(UR, C=K)_1$  を, そして,  $\theta_2 = 81^\circ 32' 09.6''$

表 3.45  $(UR, C=K)_1, (UR, C=K)_2$  の計算表

線形要素	$(UR, C=K)_2$			$(UR, C=K)_2$		
	$(UR, C=K)_1$	$(UR, C=K)_2$	$(UR, C=K)_1$	$(UR, C=K)_2$	$(UR, C=K)_2$	$(UR, C=K)_2$
道路交角	$\theta_1 = 41^\circ 04' 00'' (= 0.716749)$				$\theta_2 = 81^\circ 32' 09.6'' (= 1.423072)$	
接線角, 回転角	$\tau_{11} = 9^\circ 20' 00''$	$\tau_{12} = 11^\circ 12' 00''$	$\theta_1 = 9' 31''$		$\tau_{21} = 18^\circ 55' 40.8''$	$\tau_{22} = 21^\circ 50' 24.0''$
外線	$g_{11} = 0.072560$	$g_{12} = 0.074633$	$\Delta g_1 = 0.002073$	$g_1 = 0.073601$	$g_{21} = 0.344299$	$g_{22} = 0.352185$
パラメーター, 外線長	$l_{11} = 0.570784$	$l_{12} = 0.625263$	$(g_{11} + g_{12})/2 = 0.073597$		$l_{21} = 0.812842$	$l_{22} = 0.873132$
半径, 接線長	$r = 1.000000$		$\Delta d_1 = 0.002955$		$r = 1.000000$	
接線	$d_{11} = 0.538956$	$d_{12} = 0.572158$	$\bar{d}_{11} = 0.541911$	$\bar{d}_{12} = 0.569203$	$\bar{d}_{21} = 1.262315$	$\bar{d}_{22} = 1.23020$
クロソイ	$l_{11}^2 = 0.325794$	$l_{12}^2 = 0.390954$	$l_{11}^2 + l_{12}^2 = 0.716748$		$l_{21}^2 = 0.660712$	$l_{22}^2 = 0.762359$
単曲線	$lC_{11} = 0.350955$	$lC_{12} = 0.325795$	$lC_1 = 0.358375$		$lC_{21} = 0.762360$	$lC_{22} = 0.660713$
曲線	$Cl_{11} = 1.042543$	$Cl_{12} = 1.107703$	$Cl_1 = 1.075123$		$Cl_{21} = 2.083784$	$Cl_{22} = 2.185431$
移動	$d_{11} = 0.004418$	$d_{12} = 0.006360$	$\Delta d_1 = 0.018118$		$\Delta d_2 = 0.024091$	
接線角/道路交角	$\tau_{11}/\theta_1 = 1/4.400000, \tau_{12}/\theta_1 = 1/m_2 = 1/3.666667$		$\tau_{21}/\theta_2 = 1/n_1 = 1/4.307692, \tau_{22}/\theta_2 = 1/n_2 = 3.733333$			
曲線長の比	$l_{11}^2 : lC_1 : l_{12}^2 = 1 : 1.100005 : 1.200004$		$l_{21}^2 : lC_2 : l_{22}^2 = 1 : 1.076925 : 1.153845$			

表 3.46  $(\bar{S}) = (C=K)_1, (C=K)_2$  の計算表

線形要素	$(C=K)_1$			$(C=K)_2$		
	$(C=K)_1$	$(C=K)_2$	$(C=K)_1$	$(C=K)_2$	$(C=K)_2$	$(C=K)_2$
道路交角	$\theta_1 = 41^\circ 04' 00''$				$\theta_2 = 81^\circ 32' 09.6''$	
接線角, 回転角	$\tau_{11} = 9^\circ 20' 00''$	$\tau_{12} = 11^\circ 12' 00''$	$\theta_1 = 9' 31''$		$\tau_{21} = 18^\circ 55' 40.8''$	$\tau_{22} = 21^\circ 50' 24.0''$
外線	$G_{11} = 22.272$	$G_{12} = 22.908$	$\Delta G_1 = 0.636$	$G_1 = 22.591$	$G_{21} = 67.743$	$G_{22} = 69.295$
パラメーター, 外線長	$A_{11} = 175.197$	$A_{12} = 191.919$	$(G_{11} + G_{12})/2 = 22.590$	$A_{21} = 159.933$	$A_{22} = 171.795$	
半径, 接線長	$R_1 = 306.942$		$\Delta D_1 = 0.907$		$R_2 = 196.758$	
接線	$D_{11} = 165.428$	$D_{12} = 175.619$	$\bar{D}_{12} = 174.712$	$D_{21} = 237.483$	$D_{22} = 248.370$	$\bar{D}_{22} = 247.182$
クロソイ	$L_{11} = 100.000$	$L_{12} = 120.000$	$L_{11} + L_{12} = 220.000$	$L_{21} = 130.000$	$L_{22} = 150.000$	$L_{21} + L_{22} = 280.000$
単曲線	$LC_{11} = 120.000$	$LC_{12} = 100.000$	$LC_1 = 110.000$	$LC_{21} = 150.000$	$LC_{22} = 130.000$	$LC_2 = 140.000$
曲線	$CL_{11} = 320.000$	$CL_{12} = 340.000$	$CL_1 = 330.000$	$CL_{21} = 410.000$	$CL_{22} = 430.000$	$CL_2 = 420.000$
移動	$\Delta R_{11} = 1.356$	$\Delta R_{12} = 1.952$		$\Delta R_{21} = 3.565$	$\Delta R_{22} = 4.740$	
曲線長の比	$L_{11} : LC_1 : L_{12} = 1 : 1.1 : 1.2$		$L_{21} : LC_2 : L_{22} = 1 : 1.076923 : 1.153846$			
曲線長の比	$L_{11} : LC_1 : L_{12} : L_{21} : LC_2 : L_{22} = 100 : 110 : 120 : 130 : 140 : 150$					

注)  $R_1 = 306.941780, R_2 = 196.757592$  である。

$\tau_{21}=18^\circ55'40.8''$ ,  $\tau_{22}=21^\circ50'24.0''$  から  $(UR, C=K)_2$  を求めると, 表 3.45 のようである.

ホ)  $R_1, R_2$  の計算

$N=c/b=1.3/1.2=1.083333$ ,  $k_1=l_{12}^2/\bar{d}_{12}=0.399054/0.569203=0.686845$ ,  $k_2=l_{21}^2/\bar{d}_{21}=0.660712/1.213020=0.544684$  であるから,

$$\begin{aligned}\bar{D}_{12} &= D/[1+N(k_1/k_2)] = 413.383/[1+1.083333(0.686845/0.544684)] = 174.71282 \\ \bar{D}_{21} &= D/[1+(1/N)(k_2/k_1)] = 413.383/[1+(1/1.083333)(0.544684/0.686845)] \\ &= 238.670894\end{aligned}$$

そして,

$$\begin{aligned}R_1 &= \bar{D}_{12}/\bar{d}_{12} = 174.712182/0.569203 = 306.941780 \\ R_2 &= \bar{D}_{21}/\bar{d}_{21} = 238.670894/1.213020 = 196.757592\end{aligned}$$

となる.

へ)  $(C=K)_1, (C=K)_2$  の計算

式  $(C=K)_1=R_1(UR, C=K)_1$ ,  $(C=K)_2=R_2(UR, C=K)_2$  から  $(C=K)_1, (C=K)_2$  を求めると表 3.46 のようである. なお, この計算例は  $L_{11}=100\text{ m}$ ,  $LC_1=110\text{ m}$ ,  $L_{12}=120\text{ m}$ ,  $L_{21}=130\text{ m}$ ,  $LC_2=140\text{ m}$ ,  $L_{22}=150\text{ m}$  となるように主測線の長さ  $D$  を調節している.

(2)  $(S) = (C=K)_1 + (C=K)_2$  の計算例 (その2)

$D=394.545$ ,  $\theta_1=41^\circ04'00''$ , および6つの線形要素の曲線長の比率  $L_{11}:LC_1:L_{12}:L_{21}:LC_2:L_{22}=1:a:b:c:d:e=1.0:1.1:1.2:1.3:1.4:1.5$  を与えて,  $(S) = (C=K)_1 + (C=K)_2$  を求めよう.

[ 解 ]

$\theta_1$ , および6つの線形要素の曲線長の比率が計算例 (その1) と同じである. したがって, イ), ロ) は計算例 (その1) と同じとなる.

ハ)  $\theta_2, \tau_{21}, \tau_{22}$  の計算

$m_1[\theta_2/(\theta_1 \cdot m_2 \cdot n_1)]^{1/2} = c$  であるから,  $4.4[\theta_2/(2464.0 \times 3.666667 \times 4.307692)]^{1/2} = 1.3$ ,  $\theta_2 = 3397.333400'' = 56^\circ37'20.0''$ ,  $\tau_{21} = \theta_2/n_1 = 56^\circ37'20.0''/4.307692 = 13^\circ08'40.0''$ , そして,  $\tau_{22} = \theta_2/n_2 = 56^\circ37'20.0''/3.733333 = 15^\circ10'00.0''$  となる.

ニ) 単位平面線形の計算

$\theta_1=41^\circ04'00''$ ,  $\tau_{11}=9^\circ20'00''$ ,  $\tau_{12}=11^\circ12'00''$  から  $(UR, C=K)_1$  を, そして,  $\theta_2=56^\circ37'20''$ ,  $\tau_{21}=13^\circ08'40''$ ,  $\tau_{22}=15^\circ10'00''$  から  $(UR, C=K)_2$  を求めると, 表 3.47 のようである.

ホ)  $R_1, R_2$  の計算

$k_1=l_{12}/\bar{d}_{12}=0.625263/0.569203=1.098489$ ,  $k_2=l_{21}/\bar{d}_{21}=0.677368/0.775889=0.873022$  であるから,

$$\begin{aligned}\bar{D}_{12} &= D/[1+(k_1/k_2)] = 394.545/[1+(1.098489/0.873022)] = 174.711946 \\ \bar{D}_{21} &= D/[1+(k_2/k_1)] = 394.545/[1+(0.873022/1.098489)] = 219.833091\end{aligned}$$

そして,

表 3.47  $(UR, C=K)_1, (UR, C=K)_2$  の計算表

線形要素	$(UR, C=K)_1$			$(UR, C=K)_2$		
	$(UR, C=K)_1$	$(UR, C=K)_2$	$(UR, C=K)_1$	$(UR, C=K)_2$	$(UR, C=K)_2$	$(UR, C=K)_2$
道路交角	$\theta_1 = 41^\circ 04' 00''$ ( $\approx 0.716749$ )			$\theta_2 = 56^\circ 37' 20''$ ( $\approx 0.988244$ )		
接線角, 回転角	$\tau_{11} = 9^\circ 20' 00''$	$\tau_{12} = 11^\circ 12' 00''$	$\delta_1 = 9' 31''$	$\tau_{21} = 13^\circ 08' 40''$	$\tau_{22} = 15^\circ 10' 00''$	$\delta_2 = 10' 29''$
外線	$g_{11} = 0.072560$	$g_{12} = 0.074633$	$d g_1 = 0.002073$	$g_{21} = 0.145811$	$g_{22} = 0.149098$	$d g_2 = 0.003287$
パラメーター, 外線長	$l_{11} = 0.570784$	$l_{12} = 0.625263$	$(g_{11} + g_{12})/2 = 0.073597$	$l_{21} = 0.677368$	$l_{22} = 0.727610$	$(g_{21} + g_{22})/2 = 0.147455$
半径, 接線長	$\bar{r} = 1.000000$		$d d_1 = 0.002955$	$\bar{r} = 1.000000$		$d d_2 = 0.003466$
接線	$d_{11} = 0.538956$	$d_{12} = 0.572158$	$\bar{d}_{11} = 0.541911$	$d_{21} = 0.772423$	$d_{22} = 0.809061$	$\bar{d}_{21} = 0.775889$
クロソイド長	$l_{11}^2 = 0.325794$	$l_{12}^2 = 0.390954$	$l_{11}^2 + l_{12}^2 = 0.716748$	$l_{21}^2 = 0.458827$	$l_{22}^2 = 0.529416$	$l_{21}^2 + l_{22}^2 = 0.988243$
単曲線	$l C_{11} = 0.390955$	$l C_{12} = 0.325795$	$l C_1 = 0.358375$	$l C_{21} = 0.529417$	$l C_{22} = 0.458828$	$l C_2 = 0.494123$
曲線	$Cl_{11} = 1.042543$	$Cl_{12} = 1.107703$	$Cl_1 = 1.075123$	$Cl_{21} = 1.447071$	$Cl_{22} = 1.517660$	$Cl_2 = 1.482366$
移程	$d_{11} = 0.004418$	$d_{12} = 0.006360$		$d_{21} = 0.008755$	$d_{22} = 0.011649$	
接線角/道路交角	$\tau_{11}/\theta_1 = 1/m_1 = 1/4.400000$	$\tau_{12}/\theta_1 = 1/m_2 = 1/3.666667$		$\tau_{21}/\theta_2 = 1/n_1 = 1/4.307692$	$\tau_{22}/\theta_2 = 1/n_2 = 1/3.733333$	
曲線長の比	$l_{11}^2 : l C_1 : l_{12}^2 = 1 : 1.100005 : 1.200004$			$l_{21}^2 : l C_2 : l_{22}^2 = 1 : 1.076927 : 1.153847$		

表 3.48  $(S) = (C=K)_1 + (C=K)_2$  の計算表

線形要素	$(C=K)_1$			$(C=K)_2$		
	$(C=K)_1$	$(C=K)_2$	$(C=K)_1$	$(C=K)_2$	$(C=K)_2$	$(C=K)_2$
道路交角	$\theta_1 = 41^\circ 04' 00''$			$\theta_2 = 56^\circ 37' 20''$		
接線角, 回転角	$\tau_{11} = 9^\circ 20' 00''$	$\tau_{12} = 11^\circ 12' 00''$	$\delta_1 = 9' 31''$	$\tau_{21} = 13^\circ 08' 40''$	$\tau_{22} = 15^\circ 10' 00''$	$\delta_2 = 10' 29''$
外線	$G_{11} = 22.272$	$G_{12} = 22.908$	$d G_1 = 0.636$	$G_{21} = 41.313$	$G_{22} = 42.244$	$d G_2 = 0.931$
パラメーター, 外線長	$A_{11} = 175.197$	$A_{12} = 191.919$	$(G_{11} + G_{12})/2 = 22.590$	$A_{21} = 191.919$	$A_{22} = 206.154$	$(G_{21} + G_{22})/2 = 41.779$
半径, 接線長	$R_1 = 306.941$		$d D_1 = 0.907$	$R_2 = 283.331$		$d D_2 = 0.982$
接線	$D_{11} = 165.428$	$D_{12} = 175.619$	$\bar{D}_{11} = 166.335$	$D_{21} = 218.851$	$D_{22} = 229.232$	$\bar{D}_{21} = 219.833$
クロソイド長	$L_{11} = 100.000$	$L_{12} = 120.000$	$L_{11} + L_{12} = 220.000$	$L_{21} = 130.000$	$L_{22} = 150.000$	$L_{21} + L_{22} = 280.000$
単曲線	$LC_{11} = 120.000$	$LC_{12} = 100.000$	$LC_1 = 110.000$	$LC_{21} = 150.000$	$LC_{22} = 130.000$	$LC_2 = 140.000$
曲線	$CL_{11} = 320.000$	$CL_{12} = 340.000$	$CL_1 = 330.000$	$CL_{21} = 410.000$	$CL_{22} = 430.000$	$CL_2 = 420.000$
移程	$d R_{11} = 1.356$	$d R_{12} = 1.952$		$d R_{21} = 2.481$	$d R_{22} = 3.301$	
曲線長の比	$L_{11} : LC_1 : L_{12} = 1 : 1.1 : 1.2$			$L_{21} : LC_2 : L_{22} = 1 : 1.076923 : 1.153846$		
曲線長の比	$L_{11} : LC_1 : L_{12} : L_{21} : LC_2 : L_{22} = 100 : 110 : 120 : 130 : 140 : 150$					

注)  $R_1 = 306.941365$ ,  $R_2 = 283.330594$  である.



$$R_1 = D_{12} / \bar{d}_{12} = 174.711946 / 0.569203 = 306.941365$$

$$R_2 = D_{21} / \bar{d}_{21} = 219.833091 / 0.775889 = 283.330594$$

となる。

へ)  $(C=K)_1$ ,  $(C=K)_2$  の計算

式  $(C=K)_1 = R_1 (UR, C=K)_1$ ,  $(C=K)_2 = R_2 (UR, C=K)_2$  から  $(C=K)_1$ ,  $(C=K)_2$  を求めると、表 3.48 のようである。この計算例も計算例(その1)と同じように主測線の長さ  $D$  を調節している。

### 3.8.6 解法の応用

2つの非対称円-クロソイドから成立するS形において、自動車の走行上望ましいS形は、非対称円-クロソイド( $C=K$ )の場合と同じように、S形を構成する4~6つの線形要素の曲線長が等差級数となるS形であろうと思われる。このようなS形は、以上に述べた解法(曲線長を制御する解法)から得られる。しかし、その選定法は、3.5と3.6に述べた2つの円-クロソイド(対称形)から成立するS形の選定法を参考として、さらに研究しなければならない今後に残された課題である。

## 3.9 研究の概要

第3章に示した研究の概要は、次のようである。

イ) 自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡は7種類に分類されている(第2章参照)。したがって、自動車が連続して異方向に2回  $\theta_1, \theta_2$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡は、49種類( $=7 \times 7$ )に分類することができることを示した(3.2参照)。

ロ) 従来、いくつかの文献に紹介されているS形は、すべて49種類のいずれかに該当することを示した(3.2参照)。

ハ) 道路トラバースから、任意に選んだ3つの測線に対して49種類のS形を求める解法を示した(3.3参照)。

ニ) 自動車が連続して異方向に2回  $\theta_1, \theta_2$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡は、図 2.21 に示した三角柱における2つの点、主測線の長  $D$  および変数  $N$  によって表現できることを示した(3.3.3参照)。

ホ) 49種類のS形から、道路路線の形状として望ましいと思われる16種類のS形を選定した(3.4.1参照)。

ヘ) 16種類のS形における諸要素のうち、交通の安全性、ならびに、快適性と密接な関係があるとされている。諸要素の比率を、7つの変数  $\theta_1, \theta_2, m_1, m_2, n_1, n_2$  および  $N$  の関数として示した(3.4.2参照)。

ト) 16種類のS形から、道路路線の形状として望ましいと思われる3種類のS形(対称形)を選定した(3.5.1参照)。

チ) 3種類のS形に対して、それぞれ具体的な4種類のS形の選定法を提案し、これらの選定法を

比較した(3.5.2.2, 3.6.2参照)。そして、2つの円クロソイド(対称形)から成立するS形において、望ましいS形の選定法は、次のようであることを提案した。

i)  $1 \leq \theta_2 / \theta_1 \leq \sqrt{2} \approx 1.41$  では、S形  $(C-K)_1 + (C-K)_2$ 、またはS形  $(K)_1 + (K)_2$  を用いる。

ii)  $\sqrt{2} \leq \theta_2 / \theta_1$  では、S形  $(K)_1 + (C-K)_2$  を用いる。

iii) 接線角  $\tau$  について、 $(C-K)$  では、 $\tau = \theta/4$  とする。また  $(K)$  では、 $\tau = \theta/2$  とする。

iv) S形における4つのクロソイドのパラメーターは同一とする。

リ) S形の選定例16例を示した(3.7参照)。

ヌ) S形を構成する4～6つの線形要素の曲線長を制御する解法を示した(3.8参照)。

ル) 2つの非対称円クロソイドから成立するS形において、望ましいS形は、S形を構成する4～6つの線形要素の曲線長が等

差級数となるS形であることを提案した。

以上に示した研究の概要は、

図3.13 のようである。

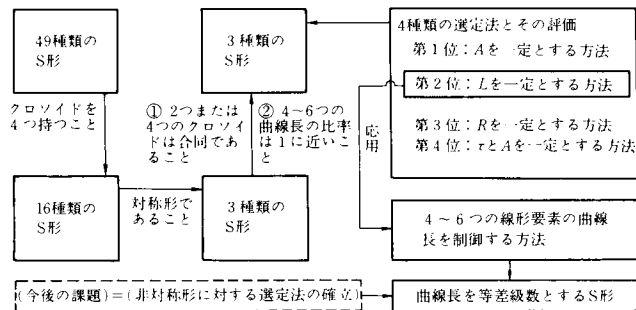


図3.13 第3章に示した研究の概要図

## 3.10 従来の解法

S形に関する従来の解法について述べよう。

### 3.10.1 Osterloh のS形の解法(その1)

距離  $D_a$  だけ離れた半径  $R_1, R_2$  とする2つの円相互間は、パラメーターを同一とする2つのクロソイドで結ぶことができる(図3.14参照)。図3.14に示したS形  $(S) = (\bar{K})_1 + (\bar{K})_2$  の自由度は3である(表3.1参照)。したがって、3つの計算条件  $D_a, R_1, R_2$  を与えると、 $(S) = (\bar{K})_1 + (\bar{K})_2$  はきまる。このようにしてS形を求める解法は、一般に、Osterloh のS形の解法と呼ばれている。これについて述べよう。

この解法は、計算図(図3.15参照)を用いた試算法である。S形、 $(S) = (\bar{K})_1 + (\bar{K})_2$  は、パラ

メーターを同一とする2つのクロソイド  $(\bar{K})_1, (\bar{K})_2$  から構成されている。2つの円の半径  $R_1, R_2$

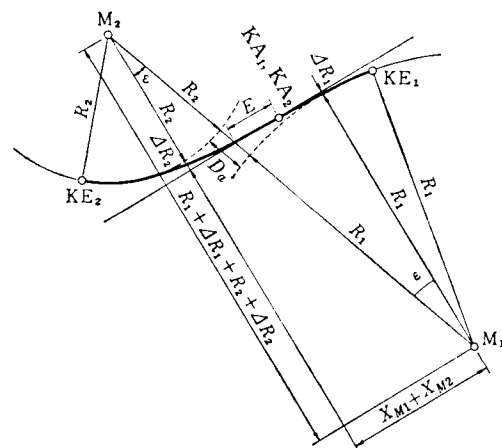


図3.14  $(S) = (\bar{K})_1 + (\bar{K})_2$

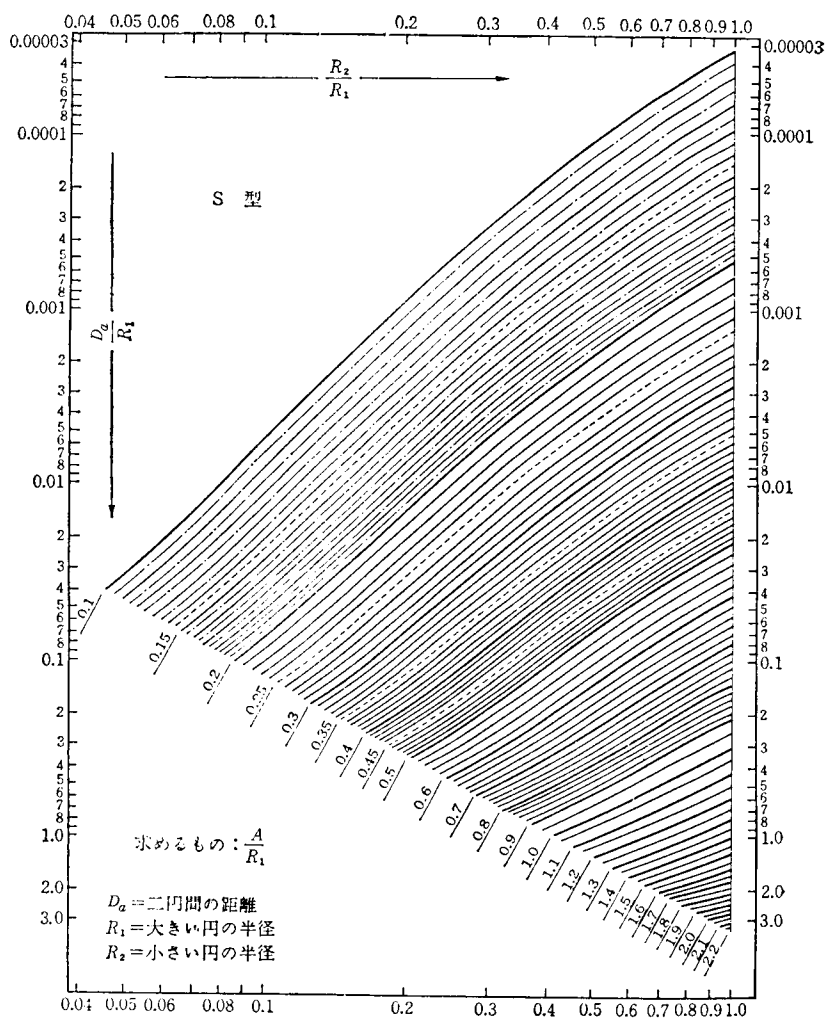


図 3.15 S 型の計算図 (Ostrloh)

に対して、共通のパラメーター  $A$  がきまると、 $(\bar{K})$  の自由度は 2 (表 2.46.1 参照) であるから、S 形、 $(S) = (\bar{K})_1 + (\bar{K})_2$  はきまる。したがって、計算図を用いると、計算条件として与えられた 3 つの条件  $D_a$ ,  $R_1$  (大きい円の半径),  $R_2$  (小さい円の半径) から共通のパラメーター  $A$  の近似値が得られる。そして、試算法によって、 $A$  の厳密解が得られることとなっている。3 つの計算条件、 $R_1$ ,  $R_2$ ,  $D_a$  から S 形、 $(S) = (\bar{K})_1 + (\bar{K})_2$  のパラメーターを求める計算法は、次のようである。

(1) 計 算 法

イ) 計算条件から求めた 2 つの値、 $R_2/R_1$ ,  $D_a/R_1$  を用いて、計算図から  $A_1/R_1 = a$  を求める。ここに、 $A_1$  は  $A$  の第 1 近似値である。

ロ) 式  $A_1 = a \cdot R_1$  から  $A_1$  を求める。

ハ)  $A_1$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  から、2 つの円の中心点間の距離の第 1 近似値  $(\overline{M_1 M_2})_1$  を、式  $(\overline{M_1 M_2})_1 = [(R_1 + R_2 + \Delta R_1 + \Delta R_2)^2 + (X M_1 + X M_2)^2]^{1/2}$  から求める。ここに  $\Delta R_1$ ,  $X M_1$  は  $A_1$ ,  $R_1$  から、ま

た、 $\Delta R_2$ ,  $XM_2$  は  $A_1$ ,  $R_2$  から、求めたクロソイドの要素である。

ニ)ロ)で求めた  $A_1$  は近似値であるから、一般に、式  $R_1 + R_2 + D_a = (\overline{M_1 M_2})_1$  は成立しない。この式において、右辺の値が左辺の値より小さい(大きい)ときは、 $A_1$  より大きい(小さい)  $A_2$  を  $A$  の第2近似値として、ハ)と同様の方法で、2つの円の中心点間の距離の第2近似値  $(\overline{M_1 M_2})_2$  を求める。

ホ)2組の値、 $A_1$ ,  $(\overline{M_1 M_2})_1$  および  $A_2$ ,  $(\overline{M_1 M_2})_2$  と、計算条件として与えられた2つの円の中心点間の距離  $R_1 + R_2 + D_a$  を用いた内挿法で、 $A$  の第3近似値  $A_3$  を求める。

ヘ)計算法ハ), ニ), ホ)を、一般に、 $2n+1$  回繰り返すと、式  $R_1 + R_2 + D_a = (\overline{M_1 M_2})_{2n+1}$  が成立することとなる。このときのパラメーター  $A_{2n+1}$  は、厳密解  $A$  である。

この計算法において、計算条件として与えられた  $D_a$  を、 $\Delta D_a$  だけ変更にも支障のないときは、 $A$  の近似値  $A_n$  を厳密解とすることもできる。この場合は、式  $R_1 + R_2 + D_a + \Delta D_a = (\overline{M_1 M_2})_n$  が成立することとなる。

## (2) 計算例

表3.30と図3.8に示したS形、 $(S) = (C - \bar{K})_1 + (C - \bar{K})_2$  のうち、主測線X軸とする2つのクロソイドから成立するS形、 $(S) = (K)_1 + (K)_2$  を3つの計算条件、 $R_1$ ,  $R_2$ ,  $D_a$  から求めよう。 $D_a$  は表3.30に示した値から式  $D_a = [D_b^2 + (R_1 + R_2 + \Delta R_1 + \Delta R_2)^2]^{1/2} - (R_1 + R_2)$  を用いて求めることができる。ここに、 $D_b = D - (G_1 + R_1) \cos[(180^\circ - \theta_1)/2] - (G_2 + R_2) \cos[(180^\circ - \theta_2)/2]$  である。まず、表3.30から  $D_a$  を求めよう。

$D = D_1 + D_2 = 193.768 + 205.715 = 399.483$ ,  $G_1 + R_1 = 28.794 + 309.883 = 338.677$ ,  $G_2 + R_2 = 34.010 + 294.732 = 328.742$  であるから、 $(G_1 + R_1) \cos[(180^\circ - \theta_1)/2] = 338.677 \times 0.389392 = 131.878$ ,  $(G_2 + R_2) \cos[(180^\circ - \theta_2)/2] = 328.742 \times 0.427884 = 140.663$  となる。したがって、 $D_b = 399.483 - 131.878 - 140.663 = 126.942$  である。また、 $R_1 + R_2 + \Delta R_1 + \Delta R_2 = 309.883 + 294.732 + 2.063 + 2.396 = 609.074$  であるから、 $D_a = [(126.942)^2 + (609.074)^2]^{1/2} - (309.883 + 294.732) = 17.547$  となる。

$R_1 = 309.883$ ,  $R_2 = 294.732$ ,  $D_a = 17.547$  を与えて、S形  $(S) = (\bar{K})_1 + (\bar{K})_2$  のパラメーター  $A$  を求めよう。

〔解〕

イ)  $R_2/R_1 = 294.732/309.883 = 0.951107$ ,  $D_a/R_1 = 17.547/309.883 = 0.056625$  を用いて、計算図から  $A_1/R_1 = 0.63$  が得られる。

ロ)  $A_1 = 0.63$ ,  $R_1 = 0.63 \times 309.883 = 195.226$  となる。

ハ) ~ ヘ) 計算法に従って第1~第5近似値を求めると、表3.49のようである。 $R_1 + R_2 + D_a = 309.883 + 294.732 + 17.547 = 622.162$  であるから、式  $R_1 + R_2 + D_a = (\overline{M_1 M_2})_5$  が成立する。したがって、 $A = 195.980$  は厳密解である。この値は表3.30の値と一致している。

## (3) 解法の評価

この解法は、固定された円相互間をS形  $(S) = (\bar{K})_1 + (\bar{K})_2$  で結ぶ方法であり、円固定法の基本的

表 3.49  $(S) = (\bar{K})_1 + (\bar{K})_2$  におけるパラメーター  $A$  の試算表

試算	$A$	$l_1 = A/R_1$	$\Delta r_1$	$xM_1$	$\Delta R_1$	$XM_1$	$(\bar{M}_1 \bar{M}_2)$
		$l_2 = A/R_2$	$\Delta r_2$	$xM_2$	$\Delta R_2$	$XM_2$	
1	195.226	0.629999	0.010355	0.314090	2.022	61.319	621.869245
		0.662385	0.012089	0.330662	2.360	64.554	
2	196.000	0.632497	0.010528	0.315827	2.063	61.902	622.168942
		0.665011	0.012233	0.331964	2.398	65.065	
3	195.982	0.632439	0.010525	0.315798	2.063	61.891	622.163270
		0.664950	0.012229	0.331934	2.397	65.053	
4	195.979	0.632429	0.010524	0.315793	2.062	61.889	622.161475
		0.664940	0.012229	0.331929	2.397	65.051	
5	195.980	0.632432	0.010525	0.315795	2.0627	61.8895	622.162034
		0.664943	0.012229	0.331931	2.3966	65.0518	

な解法である。この解法をさらに簡素化することは不可能であろう。

### 3.10.2 S表によるS形の解法(その2)

3.10.1 で述べた Osterloh のS形の解法は、計算法が試算法であることから、比較的複雑である。この複雑さを除く方法として、S表(表3.50参照)がある。S表には、 $(S) = (\bar{K})_1 + (\bar{K})_2$  の諸要素  $D_a$ ,  $\epsilon$ ,  $E$  が示されている。S表について述べよう。

#### (1) 表示の方法

表示の方法は、次のようである。

イ) パラメーター  $A$  :  $A$  は、 $A = 55, 60, 65, 70, 75, 80, 90, 100, 120, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500$  の20個である。

ロ) 曲率半径  $R$  : 20個のパラメーター  $A$  に対して、それぞれ、 $R = A \sim R = 3A$  まで、 $R$  をまとめた値とした17個の  $R$  を表示している。

ハ) S形の数 : 1個の  $A$  に対して、表示されたS形の数はいくつある。したがって、S表に表示されたS形の総数は、 $3060 (= 153 \times 20)$  個である。

ニ) 桁数 : イ) で述べたように、 $A$  は  $A = 55 \sim 500$  となっている。したがって、 $A$  表は、 $A = 550 \sim 5000$  として利用することもできる。

#### (2) 表の使用法とその限界

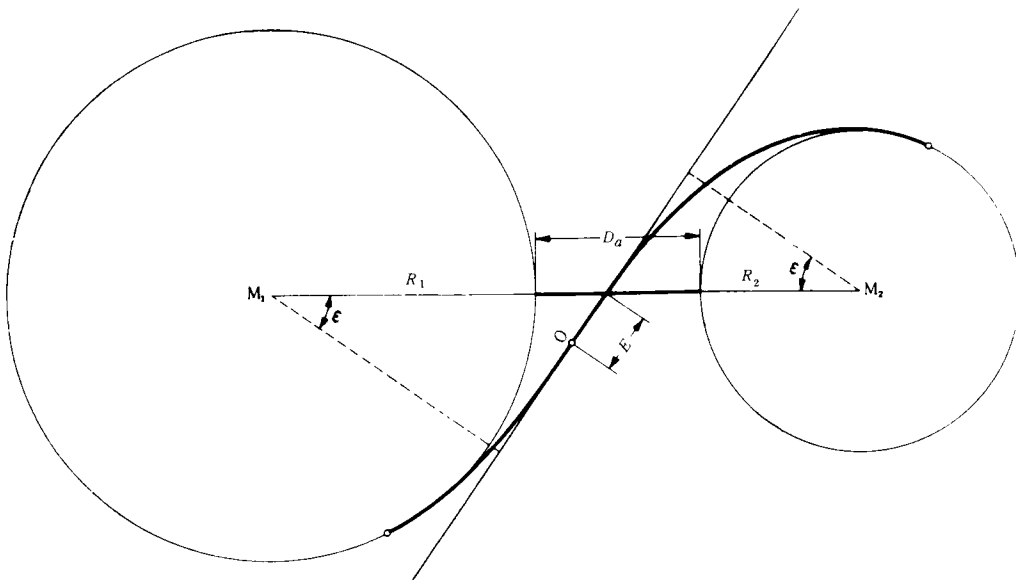
$A$  表は、 $A, R$  平面上のいくつかの点に対応するクロソイド  $(\bar{K})$  の諸要素を表示している。これと同じようにS表は、 $A, R_1, R_2$  空間におけるいくつかの点に対応するS形  $(S) = (\bar{K})_1 + (\bar{K})_2$  を表示している。したがって  $A$  表と同じように、S表もS表に表示されたS形を直ちに道路路線の平面線形として用いるときは、便利であり、簡素化された方法であるといえよう。しかし、現実に道路路線の平面線形として採用するためには、写真1.1の方法によって要求されることとなるS形の解法としては、その制約条件は大きい。ここに Osterloh のS形の解法の存在理由がある。

### 3.10.3 Osterloh のS形の解法(その3)

3.10.1, 3.10.2 に示したS形の解法に対して、新しく Osterloh が開発した解法について述べよ

表 3.50 S 表 (S 表の参考図参照)

A = 55							
55	60	65	70	75	80	85	90
16.87 25 27 49 0.00	15.02 23 44 03 2.09	13.55 22 11 32 3.91	12.35 20 49 02 5.50	11.35 19 36 19 6.89	10.52 18 29 12 8.12	9.82 17 29 43 9.22	9.22 16 35 59 10.20
	13.29 22 06 17 0.00	11.91 20 37 36 1.82	10.80 19 19 39 3.40	9.88 18 10 12 4.79	9.12 17 08 04 6.02	8.47 16 12 17 7.11	7.92 15 21 58 8.09
		10.62 19 14 28 0.00	9.58 18 00 48 1.58	8.72 16 55 19 2.97	8.01 15 56 51 4.20	7.42 15 04 25 5.29	6.91 14 17 13 6.27
			8.60 16 51 06 0.00	7.80 15 49 15 1.39	7.14 14 54 07 2.62	6.58 14 04 45 3.71	6.11 13 20 21 4.68
				7.04 14 50 43 0.00	6.42 13 58 37 1.23	5.91 13 12 02 2.31	5.47 12 30 11 3.29
					5.84 13 09 18 0.00	5.36 12 25 13 1.09	4.94 11 45 39 2.06
						4.89 11 43 26 0.00	4.50 11 05 56 0.97
							4.13 10 30 19 0.00

上段  $D_a$ 中段  $\epsilon$ 下段  $E$ 

(S 表の参考図)

A = 55										
95	100	110	120	125	130	140	150	160	R	L
8.70 15 47 16 11.08	8.25 15 02 55 11.87	7.50 13 45 16 13.25	6.92 12 39 39 14.41	6.67 12 10 31 14.92	6.44 11 43 31 15.39	6.05 10 54 59 16.23	5.72 10 12 38 16.96	5.44 9 35 23 17.60	55	55.00
7.45 14 36 24 8.97	7.04 13 56 00 9.76	6.36 12 42 37 11.13	5.83 11 41 33 12.28	5.61 11 14 29 12.79	5.40 10 49 23 13.25	5.05 10 04 21 14.09	4.76 9 25 05 14.82	4.52 8 50 33 15.45	60	50.42
6.48 13 34 31 7.14	6.10 12 56 46 7.93	5.48 11 44 06 9.30	5.00 10 51 05 10.45	4.80 10 25 50 10.95	4.61 10 02 26 11.42	4.30 9 20 28 12.25	4.03 8 43 55 12.97	3.81 8 11 48 13.61	65	46.54
5.71 12 40 15 5.55	5.36 12 03 51 6.34	4.79 11 00 24 7.71	4.35 10 07 00 8.85	4.16 9 43 22 9.35	4.00 9 21 29 9.82	3.71 8 42 14 10.65	3.47 8 08 04 11.37	3.27 7 38 04 12.01	70	43.21
5.09 11 52 23 4.16	4.77 11 18 08 4.95	4.24 10 18 27 6.31	3.83 9 28 16 7.46	3.66 9 06 04 7.96	3.51 8 45 31 8.42	3.24 8 08 41 9.26	3.02 7 36 39 9.98	2.84 7 08 31 10.61	75	40.33
4.59 11 09 57 2.93	4.28 10 37 37 3.72	3.79 9 41 19 5.09	3.41 8 54 01 6.23	3.25 8 33 06 6.73	3.11 8 13 44 7.19	2.87 7 39 04 8.02	2.66 7 08 54 8.74	2.50 6 42 27 9.38	80	37.81
4.17 10 32 08 1.84	3.88 10 01 31 2.63	3.42 9 08 15 4.00	3.07 8 23 32 5.14	2.92 8 03 47 5.64	2.79 7 45 30 6.10	2.56 7 12 45 6.93	2.37 6 44 16 7.65	2.22 6 19 17 8.28	85	35.59
3.82 9 58 14 0.87	3.55 9 29 11 1.66	3.12 8 38 40 3.02	2.78 7 56 17 4.16	2.64 7 37 33 4.67	2.52 7 20 14 5.13	2.31 6 49 13 5.96	2.13 6 22 15 6.68	1.99 5 58 36 7.31	90	33.61
3.52 9 27 42 0.00	3.27 9 00 04 0.78	2.86 8 12 03 2.15	2.54 7 31 46 3.29	2.41 7 13 59 3.79	2.29 6 57 32 4.26	2.09 6 28 04 5.09	1.93 6 02 29 5.81	1.79 5 40 02 6.43	95	31.84
	3.02 8 33 44 0.00	2.63 7 47 59 1.36	2.34 7 09 37 2.50	2.21 6 52 41 3.01	2.10 6 37 01 3.47	1.91 6 08 59 4.30	1.76 5 44 37 5.02	1.63 5 23 16 5.65	100	30.25
		2.28 7 06 11 0.00	2.01 6 31 10 1.14	1.89 6 15 43 1.64	1.79 6 01 26 2.10	1.63 5 35 52 2.93	1.49 5 13 39 3.65	1.37 4 54 11 4.28	110	27.50
3.22 8 25 28 0.00			1.76 5 58 59 0.00	1.66 5 44 46 0.50	1.56 5 31 39 0.96	1.41 5 08 09 1.79	1.28 4 47 45 2.51	1.18 4 29 53 3.14	120	25.21
2.84 7 44 11 1.36	2.49 7 06 11 0.00			1.56 5 31 07 0.00	1.47 5 18 30 0.46	1.32 4 55 56 1.29	1.20 4 36 23 2.01	1.10 4 19 10 2.64	125	24.20
2.68 7 25 57 1.95	2.34 6 49 24 0.59	2.20 6 33 15 0.00				1.38 5 06 22 0.00	1.24 4 44 39 0.82	1.13 4 25 47 1.55	130	23.27
2.54 7 09 04 2.50	2.21 6 33 52 1.15	2.08 6 18 20 0.56	1.96 6 03 57 0.00				1.11 4 24 27 0.00	1.00 4 06 55 0.71	140	21.61
2.30 6 38 50 3.48	1.99 6 06 04 2.13	1.87 5 51 36 1.54	1.76 5 38 14 0.98	1.57 5 14 18 0.00				0.90 3 50 32 0.00	150	20.17
2.10 6 12 33 4.34	1.82 5 41 55 2.99	1.70 5 28 23 2.39	1.59 5 15 53 1.84	1.42 4 53 31 0.85	1.28 4 34 05 0.00			0.74 3 22 44 0.00	160	18.91
1.94 5 49 30 5.09	1.67 5 20 44 3.73	1.56 5 08 02 3.14	1.46 4 56 17 2.59	1.29 4 35 18 1.60	1.16 4 17 04 0.74	1.05 4 01 05 0.00				
1.81 5 29 07 5.75	1.55 5 02 00 4.40	1.44 4 50 02 3.80	1.35 4 38 59 3.25	1.19 4 19 12 2.26	1.07 4 02 01 1.41	0.96 3 46 58 0.66	0.87 3 33 40 0.00			
110	120	125	130	140	150	160	170			
A = 60										

う. この解法は, 3.10.1, 3.10.2に示した解法に対して, 次のような特色を持っている.

イ) 試算法によらずに直接法で求めることができる.

ロ) A表を用いる必要はない.

ハ) 与えられた2本の測線に対して, S形を求めることができる.

文献3) の pp.74~79に Osterloh の解法による計算例が示されている. これについて述べよう.

#### (1) 計算条件

イ) 2つの測線と1方の測線におけるS形の始点  $KA_1$  (図 3.16.1 と 3.16.2 参照). 計算条件の数は  $2(\theta$  と  $B$ ) である.

ロ) S形を構成する2つの平面線形  $(Y)_1, (Y)_2$  における4つのクロソイド  $(\bar{K})_1, (\bar{K})_2, (\bar{K})_3, (\bar{K})_4$

#### (2) 計算法の概要

イ)  $M_1$  の座標: 点  $KA_1$  を原点とするクロソイド  $(\bar{K})_1$  を用いて,  $(Y)_1$  の曲率中心  $M_1$  の座標  $x_1, y_1$  は, 式  $x_1 = XM_1, y_1 = R_1 + \Delta R_1$  から得られる.

ロ)  $\overline{M_1 M_2}$ : 2つの平面線形  $(Y)_1, (Y)_2$  の曲率中心間の距離  $\overline{M_1 M_2}$  は,  $(K)_2, (K)_3$  を用いて, 式  $\overline{M_1 M_2} = [(R_1 + R_2 + \Delta R_2 + \Delta R_3)^2 + (XM_2 + M_3)^2]^{1/2}$  から得られる.

ハ)  $M_2$  の座標: 点  $KA_3$  を原点とするクロソイド  $(\bar{K})_4$  を用いて,  $(Y)_2$  の曲率中心  $M_2$  の座標  $x_4, y_4$  は, 式  $x_4 = XM_4, y_4 = R_2 + \Delta R_4$  から得られる.

以上に述べた3つの計算の結果, 3.10.3.1に示した2つの計算条件に適合する  $(Y)_1$  の単曲線長,  $(Y)_2$  の単曲線長およびS形の主測線が得られる.

#### (3) 計算例

文献3) の計算例をここに示そう. この計算例は, 表 3.1 の 25 番のロ) に示した自由度6のS形  $(S) = (C=K)_1 + (C-K)_2$  である. 6つの計算条件は,  $\theta = 96^\circ 30' 42''$  で交わる2つの測線, 点  $KA_1, A_{11} = 250, A_{12} = 200, R_1 = 300, R_2 = 250$  である. これら6つの計算条件を与えて,  $(S) = (C=K)_1 + (C-K)_2$  を求めよう.

2本の直線  $\overline{P_1 A}, \overline{BP_2}$  の間をS形で結合させよう. ここに,  $P_1, P_2, A, B$  の座標は, それぞれ,  $(263.156, 386.738), (846.238, 1532.264), (372.438, 763.237), (724.736, 926.429)$ , また,  $(A_1 = 250, A_2 = 200, A_{w1} = A_{w2} = 200, R_1 = 300, R_2 = 250, P_1$  と  $KA_1$  間の距離  $d = 214.638$  とする (図 3.16.1 参照).

[ 解 ]

イ) クロソイドの諸要素の計算, クロソイド表 (A 表) から, クロソイドの諸要素を求めると,  $R_1 = 300, A_1 = 250$  から  $L_1 = 208.333, \Delta R_1 = 6.002, XM_1 = 103.749, X_1 = 205.836, Y_1 = 23.906, \tau_1 = 19^\circ 53' 40''$  が,  $R_1 = 300, A_{w1} = 200$  から  $L_{w1} = 133.333, \Delta R_{w1} = 2.465, XM_{w1} = 66.557, X_{w1} = 132.676, Y_{w1} = 9.842, \tau_{w1} = 12^\circ 43' 57''$  が,  $R_2 = 250, A_{w2} = A_2 = 200$  から  $L_{w2} = L_2 = 160.000, \Delta R_{w2} = \Delta R_2 = 4.251, XM_{w2} = XM_2 = 79.728, X_{w2} = X_2 = 158.369, Y_{w2} = Y_2 = 16.942, \tau_{w2} = \tau_2 = 18^\circ 20' 05''$  が得られる.



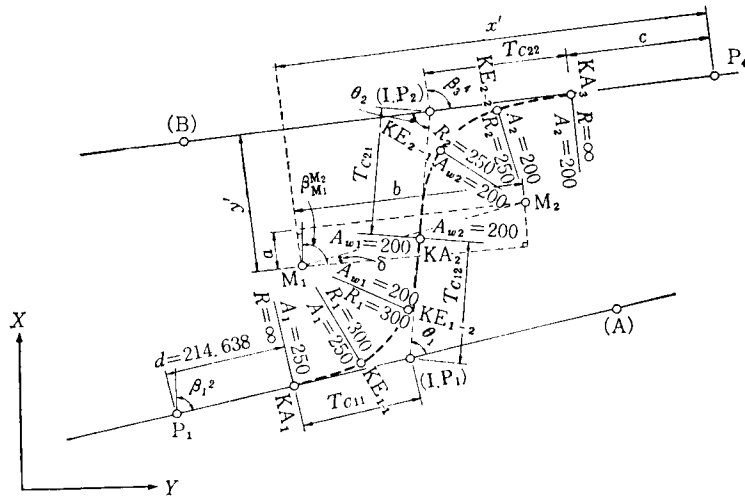


図 3.16.1 S形の課題

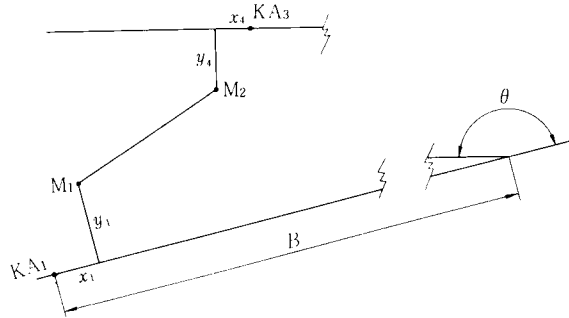


図 3.16.2 計算法の概要図

ロ) 方位角  $\beta_1^3, \beta_3^4$  の計算,  $\tan \beta_1^2 = (763.237 - 386.738) / (372.438 - 263.156) = 3.4452059$  であるから  $\beta_1^2 = 73^\circ 48' 51''$  となる。また,  $\tan \beta_3^4 = (1532.264 - 926.429) / (846.238 - 724.736) = 4.9862142$  であるから  $\beta_3^4 = 73^\circ 39' 35''$  となる。

ハ) 点  $KA_1, M_1$  の座標の計算,  $Y_{KA1} = Y_{IP1} + d \sin \beta_1^2 = 386.738 + 214.638 \sin 73^\circ 48' 51'' = 592.868$ ,  $X_{KA1} = X_{IP1} + d \cos \beta_1^2 = 263.156 + 214.638 \cos 73^\circ 48' 51'' = 322.987$ , また,  $Y_{M1} = Y_{KA1} + XM_1 \sin \beta_1^2 - (R_1 + \Delta R_1) \cos \beta_1^2 = 592.868 + 103.749 \sin \beta_1^2 - 306.002 \cos \beta_1^2 = 607.206$  である。

ニ) 点  $M_1$  の座標を  $\overline{P_2 B}$  に変換するための  $y', x'$  の計算 (図 3.16.3 参照),  $\Delta Y = 1532.264 - 607.206 = 925.058$ ,  $\Delta X = 846.238 - 645.780 = 200.458$  であるから,  $y' = \Delta X \sin \beta_3^4 - \Delta Y \cos \beta_3^4 = 200.458 \sin 78^\circ 39' 35'' - 925.058 \cos 78^\circ 39' 35'' = 14.645$ ,  $x' = \Delta X \cos \beta_3^4 + \Delta Y \sin \beta_3^4 = 200.458 \cos 78^\circ 39' 35'' + 925.058 \sin 78^\circ 39' 35'' = 946.415$  となる。

ホ)  $a, b, c$  の計算,  $\overline{M_1 M_2} = [(R_1 + R_2 + R_{w1} + R_{w2})^2 + (XM_{w1} + XM_{w2})^2]^{1/2} = (556.716^2 + 146.285^2)^{1/2} = 575.614$  であるから  $a = R_2 + \Delta R_2 - y' = 250.000 + 4.251 - 14.645 = 239.606$ ,  $b = (\overline{M_1 M_2} - a^2)^{1/2}$

ヲ)  $KE_{11}$ ,  $KE_{12}$ ,  $KE_{21}$ ,  $KE_{22}$  の座標の計算, A 表から  $S$  と  $\sigma$  を求めると,  $S_1=207.219$ ,  $S_{w1}=133.041$ ,  $S_{w2}=S_2=159.273$ ,  $\sigma=6^\circ 37' 29''$ ,  $\sigma_{w1}=4^\circ 14' 32''$ ,  $\sigma_{w2}=\sigma_2=6^\circ 06' 22''$  である. したがって,  $Y_{KE11}=Y_{KA1}+S_1 \sin(\beta_1^2-\sigma_1)=592.868+207.219 \sin(73^\circ 48' 51''-6^\circ 37' 29'')=783.881$ ,  $X_{KE11}=X_{KA1}+S_1 \cos(\alpha_1^2-\sigma_1)=322.987+207.219 \cos 67^\circ 11' 22''=403.323$ ,  $Y_{KE12}=Y_{KA2}-S_{w1}$

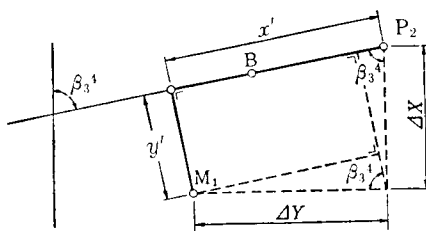


圖 3.16.3 座標變換

$\sin(\beta_2^3 + \sigma_{w1}) = 905.541 - 133.041 \sin(27^\circ 58' 52'' + 4^\circ 14' 32'') = 834.601$ ,  $X_{KE12} = X_{KA2} - S_{w1} \cos(\alpha_2^3 + \sigma_{w1}) = 562.648 - 133.041 \cos 32^\circ 13' 24'' = 450.098$ ,  $Y_{KE21} = Y_{KA2} + S_{w2} \sin(\alpha_2^3 + \sigma_{w2}) = 905.541 + 159.273 \sin(27^\circ 58' 52'' + 6^\circ 06' 22'') = 994.806$ ,  $X_{KE21} = X_{KA2} + S_{w2} \cos(\alpha_2^3 + \sigma_{w2}) = 562.648 + 159.273 \cos 34^\circ 05' 14'' = 694.556$ ,  $Y_{KE22} = Y_{KA3} - S_2 \sin(\alpha_3^4 - \sigma_2) = 1195.655 - 159.273 \sin(78^\circ 39' 35'' - 6^\circ 06' 22'') = 1043.709$ ,  $X_{KE22} = X_{KA3} - S_2 \cos(\alpha_3^4 - \sigma_2) = 778.731 - 159.273 \cos 72^\circ 33' 13'' = 730.979$  となる。座標の計算の結果をとりまとめると、表 3.51 のようである。

#### (4) 計算例の照査

3.10.3.3 に示した計算例を、著者が本論文で提案した方法を用いて照査しよう。

$\theta_1 = 45^\circ 49' 59''$ ,  $\tau_{11} = 19^\circ 53' 40''$ ,  $\tau_{12} = 12^\circ 43' 57''$ ,  $\tau_2 = 18^\circ 20' 05''$ ,  $D = 399483$  を与えて,  $(S) = (C=K)_1 + (C-K)_2$  を求めよう。

〔解〕

計算の結果を示すと、表 3.52, 3.53 のようである。表 3.54 は、2 つの解法による計算結果を比較している (図 3.17 参照)。

#### (5) 解法の適用範囲とその限界

イ) この解法は、角度  $\theta$  で交わる 2 つの測線と、一方の測線における S 形の始点  $KA_1$  (計算条件の数は 2) と S 形におけるクロソイドに対する  $N-2$  個の計算条件、すなわち、4 個のクロソイドを与えて、S 形を求めることができる。

ロ) この解法は、表 3.1 に示した 49 種類の S 形のうち、S 形を構成する曲線要素の数が 6 である 4 種類の S 形、すなわち、④番、⑦番、②⑤番のイ)、ロ) の S 形を求めることができる。しかし、他の 45 種類の S 形を求めることはできない。

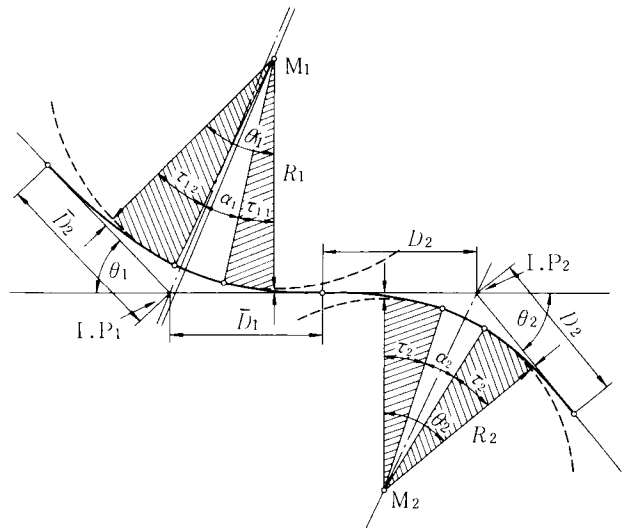


図 3.17  $(S) = (C=K)_1 + (C-K)_2$

表 3.51 求 値 表

	Y 座 標	X 座 標
$P_1$	386.738	263.156
$I.P_1$	812.006	386.594
$I.P_2$	999.435	739.379
$P_2$	1532.264	846.238
$KA_1$	592.868	322.987
$KE_{1-1}$	783.881	403.323
$KE_{1-2}$	834.601	450.098
$KA_2$	905.541	562.648
$KE_{2-1}$	994.806	694.556
$KE_{2-2}$	1043.709	730.979
$KA_3$	1195.655	778.731

表 3.52  $(UR, C-K)_1, (UR, C-K)_2$  の計算表

線 形 諸要素	$(UR, C-K)_1$			$(UR, C-K)_2$
	$(UR, C-K)_{11}$	$(UR, C-K)_{12}$	$(UR, C-K)_1$	
道 路 交 角	$\theta_1 = 45^\circ 49' 59''$ ( $-0.799938$ )			$\theta_2 = 50^\circ 40' 43''$
接線角, 回転角	$\tau_{11} = 19^\circ 53' 40''$	$\tau_{12} = 12^\circ 43' 57''$	$\delta_1 = 52' 03''$	$\tau_2 = 18^\circ 20' 05''$
外 線 長	$g_{11} = 0.107412$	$g_{12} = 0.094610$	$\Delta g_1 = 0.012802$   $g_1 = 0.101125$	$g_2 = 0.125267$
パラメーター, 外線長	$l_{11} = 0.833335$	$l_{12} = 0.666669$	$(g_{11} + g_{12}) / 2 = 0.101011$	$l_2 = 0.800002$
半 径, 接 線 長	$\bar{r} = 1.000000$		$\Delta d_1 = 0.016439$	$\bar{r} = 1.000000$
接 線 長	$d_{11} = 0.777049$	$d_{12} = 0.648089$	$\bar{d}_{11} = 0.760610$   $\bar{d}_{12} = 0.664528$	$d_2 = 0.800501$
ク ロ ソ イ ド 長	$l_{11}^2 = 0.694447$	$l_{12}^2 = 0.444448$	$l_{11}^2 + l_{12}^2 = 1.138895$	$l_2^2 = 0.640003$
単 曲 線 長	$lC_{11} = 0.105491$	$lC_{12} = 0.355490$	$lC_1 = 0.230491$	$lC_2 = 0.244506$
曲 線 長	$Cl_{11} = 1.494385$	$Cl_{12} = 1.244386$	$Cl_1 = 1.369386$	$Cl_2 = 1.524512$
移 程 量	$\Delta_{11} = 0.020008$	$\Delta_{12} = 0.008216$		$\Delta_2 = 0.017004$
接線角/道路交角	$\tau_{11}/\theta_1 = 0.434063$	$\tau_{12}/\theta_1 = 0.277802$	$\tau_{11}/\theta_1 + \tau_{12}/\theta_1 = 0.711865$	$\tau_2/\theta_2 = 0.361784$
曲 線 長 の 比	$l_{11}^2 : lC_1 : l_{12}^2 : l_2^2 = 1 : 0.331906 : 0.640003$			$lC/l^2 = 0.382039$

表 3.53  $(S) = (C=K)_1 + (C-K)_2$  の計算表 $D = 399.483$ 

線 形 諸要素	$(C=K)_1$			$(C-K)_2$
	$(C-K)_{11}$	$(C-K)_{12}$	$(C=K)_1$	
道 路 交 角	$\theta_1 = 45^\circ 49' 59''$			$\theta_2 = 50^\circ 40' 43''$
接線角, 回転角	$\tau_{11} = 19^\circ 53' 40''$	$\tau_{12} = 12^\circ 43' 57''$	$\delta_1 = 52' 03''$	$\tau_2 = 18^\circ 20' 05''$
外 線 長	$G_{11} = 32.223$	$G_{12} = 28.383$	$\Delta G_1 = 3.841$   $G_1 = 30.337$	$G_2 = 31.317$
パラメーター, 外線長	$A_{11} = 250.000$	$A_{12} = 200.000$	$(G_{11} + G_{12}) / 2 = 30.303$	$A_2 = 200.001$
半 径, 接 線 長	$R_1 = 299.999$		$\Delta D_1 = 4.932$	$R_2 = 250.000$
接 線 長	$D_{11} = 233.114$	$D_{12} = 194.426$	$\bar{D}_{11} = 228.182$   $\bar{D}_{12} = 199.358$	$D_2 = 200.125$
ク ロ ソ イ ド 長	$L_{11} = 208.333$	$L_{12} = 133.334$	$L_{11} + L_{12} = 341.667$	$L_2 = 160.001$
単 曲 線 長	$LC_{11} = 31.647$	$LC_{12} = 106.647$	$LC_1 = 69.147$	$LC_2 = 61.127$
曲 線 長	$CL_{11} = 448.314$	$CL_{12} = 373.315$	$CL_1 = 410.814$	$CL_2 = 381.128$
移 程 量	$\Delta R_{11} = 6.002$	$\Delta R_{12} = 2.465$		$\Delta R_2 = 4.251$
6 つの曲線長の比	$L_{11} : LC_1 : L_{12} : L_2 : LC_2 : L_2 = 208.333 : 69.147 : 133.334 : 160.001 : 61.127 : 160.001$ $= 1 : 0.331906 : 0.640005 : 0.768006 : 0.293410 : 0.768006$			
理 論 値	$( = 1 : 0.331905 : 0.640003 : 0.768003 : 0.293407 : 0.768003$			

表 3.54  $(S) = (C=K)_1 + (C=K)_2$  における計算結果の比較

線 形 諸 要 素	$(C=K)_1$			$(C=K)_2$
	$(C=K)_{11}$	$(C=K)_{12}$	$(C=K)_1$	
道 路 交 角	$(\theta_1 = 45^\circ 49' 59'')$ $\theta_1 = 45^\circ 49' 59''$			$(\theta_2 = 50^\circ 40' 43'')$ $\theta_2 = 50^\circ 40' 43''$
接 線 角, 回 転 角	$(\tau_1 = 19^\circ 53' 40'')$ $\tau_{11} = 19^\circ 53' 40''$	$(\tau_{w1} = 12^\circ 43' 57'')$ $\tau_{12} = 12^\circ 43' 57''$	$\delta_1 = 52' 03''$	$(\tau_2 = 18^\circ 20' 05'')$ $\tau_2 = 18^\circ 20' 05''$
外 線 長	$G_{11} = 32.223$	$G_{12} = 28.383$	$\Delta G_1 = 3.841$ $G_1 = 30.337$	$G_2 = 31.317$
パラメーター, 外線長	$(A_1 = 250.000)$ $A_{11} = 250.000$	$A_{w1} = 200.000$ $A_{12} = 200.000$	$(G_{11} + G_{12}) / 2 = 30.303$	$(A_2 = 200.000)$ $A_2 = 200.001$
半 径, 接 線 長	$(R_1 = 300.000)$ $R_1 = 299.999$		$\Delta D_1 = 4.932$	$(R_2 = 250.000)$ $R_2 = 250.000$
接 線 長	$D_{11} = 233.114$	$D_{12} = 194.426$	$(T_{c11} = 228.183)$ $\bar{D}_{11} = 228.182$	$(T_{c12} = 199.358)$ $\bar{D}_{12} = 199.358$
ク ロ ソ イ ド 長	$(L_1 = 208.333)$ $L_{11} = 208.333$	$(L_{w1} = 133.333)$ $L_{12} = 133.334$	$L_{11} + L_{12} = 341.667$	$(L_2 = 160.000)$ $L_2 = 160.001$
単 曲 線 長	$LC_{11} = 31.647$	$LC_{12} = 106.647$	$(L_{c1} = 69.147)$ $LC_1 = 69.147$	$(L_{c2} = 61.127)$ $LC_2 = 61.127$
曲 線 長	$CL_{11} = 448.314$	$CL_{12} = 373.315$	$CL_1 = 410.814$	$CL_2 = 381.128$
移 程 量	$(\Delta R_1 = 6.002)$ $\Delta R_{11} = 6.002$	$(\Delta R_{w1} = 2.465)$ $\Delta R_{12} = 2.465$		$(\Delta R_2 = 4.251)$ $\Delta R_2 = 4.251$

ハ) この解法によると, S 形の主測線は, 計算の結果得られる. 3つの測線を計算条件に組み込むことはできない. したがって, I.P 法になじみ難い.

ニ) この解法によると, S 形を構成する6つの線形要素のうち, 2つの線形要素 $[(Y)_1, (Y)_2$ の単曲線]の曲線長は計算の結果得られる. したがって, この解法は, 6つの線形要素の曲線長を制御できない.

### 3.10.4 S形の解法(その4)

文献1)のpp.47~48に示されているS形 $(S) = (K)_1 + (K)_2$ の解法について述べよう.

3つの測線, すなわち, 主測線の長さ  $D$ , 2つの道路交角  $\theta_1, \theta_2$  を与えて  $(S) = (K)_1 + (K)_2$  を求める計算法は, 次のようである.

#### (I) 計 算 法

イ) 式  $\tau_1 = \theta_1 / 2$ ,  $\tau_2 = \theta_2 / 2$  から,  $\tau_1, \tau_2$  を求める.

ロ)  $\tau_1$  を用いて, 単位クロソイド表 $(UA, \bar{K})$ から,  $(UA, \bar{K})_1$ の諸要素, 外線長  $n_1$ , 曲率半径  $r_1$ , 接線長  $t_1$ , クロソイド長  $l_1$ , 曲線長  $2l_1$ , 移程量  $\Delta r_1$  を求める. 同様に  $\tau_2$  を用いて,  $(UA, \bar{K})_2$ の諸要素,  $n_2, r_2, t_2, l_2, 2l_2, \Delta r_2$  を求める.

ハ) 式  $(K)_1 = A(UA, K)_1$ ,  $(K)_2 = A(UA, K)_2$  から  $(K)_1, (K)_2$  を求める. ここに,  $A = D / (t_1 + t_2)$  である.

#### (II) 計 算 例

$D = 136.230$ ,  $\theta_1 = 24^\circ 55'$ ,  $\theta_2 = 30^\circ 42'$  を与えて  $(S) = (K)_1 + (K)_2$  を求めよう.

表 3.55  $(S) = (K)_1 + (K)_2$  の計算表

D = 136.230

諸要素 \ 線形	$(UA, K)_1$	$(K)_1$	$(UA, K)_2$	$(K)_2$
道路交角	$\theta = 24^\circ 55' 00'' (= 0.434878)$		$\theta = 30^\circ 42' 00'' (= 0.535816)$	
接線角	$\tau = \theta / 2 = 12^\circ 27' 30''$		$\tau = \theta / 2 = 15^\circ 21' 00''$	
外線長	$n = 0.048784$	$N = 4.708$	$n = 0.067440$	$N = 6.509$
パラメーター	1.000000	A = 96.516	1.000000	A = 96.516
曲率半径	$r = 1.516410$	$R = 146.358$	$r = 1.366130$	$R = 131.853$
接線長	$t = 0.666865$	$T = 64.363$	$t = 0.744611$	$T = 71.867$
クロソイド長	$l = 0.659453$	$L = 63.648$	$l = 0.731995$	$L = 70.649$
単曲線長	0	0	0	0
曲線長	$2l = 1.318906$	$2L = 127.296$	$2l = 1.463990$	$2L = 141.298$
移程量	$\Delta r = 0.011929$	$\Delta R = 1.151$	$\Delta r = 0.016301$	$\Delta R = 1.573$
接線角 / 道路交角	$\tau / \theta = 0.500000$		$\tau / \theta = 0.500000$	
単曲線長 / クロソイド長	0		0	

イ)  $\tau_1 = \theta_1 / 2 = 24^\circ 55' / 2 = 12^\circ 27' 30''$ ,  $\tau_2 = \theta_2 / 2 = 30^\circ 42' / 2 = 15^\circ 21'$  である.

ロ)  $\tau_1 = 24^\circ 55'$  を用いて, 単位クロソイド表から  $(UA, \bar{K})_1$  の諸要素を, また,  $\tau_2 = 15^\circ 21'$  を用いて  $(UA, \bar{K})_2$  の諸要素を求めると, 表 3.55 のようである.

ハ)  $A = D / (t_1 + t) = 136.230 / (0.666865 + 0.744611) = 96.515988$  を用いて, 式  $(K)_1 = A(UA, K)_1$ ,  $(K)_2 = A(UA, K)_2$  から  $(K)_1$ ,  $(K)_2$  を求めると, 表 3.55 のようである.

この計算例は, 表 3.41 の計算条件と同じである. 表 3.41 は式  $(K) = R(\bar{U}R, K)$  から, また, 表 3.55 は式  $(K) = A(UA, K)$  から  $(K)$  を求めている. しかし, 計算の結果得られた S 形の諸要素は一致している.

### (3) 解法の限界

著者が本論文に提案した平面線形  $(Y)$  の計算法では, 式  $(Y) = R(\bar{U}R, Y)$  から  $(Y)$  を求めている. 一方この S 形の解法では, 式  $(Y) = A(UA, Y)$  から  $(Y)$  を求めている. これら 2 つの方法は似ている. しかし, 単位平面線形  $(UA, Y)$  は, 自動車が任意の角度  $\theta$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡  $(\bar{Y})$  の単位平面線形を表現できない. ここに, この解法の限界がある. 単位平面線形  $(UR, Y)$  は,  $(\bar{Y})$  の単位平面線形を表現できる.

## 3.11 従来の方法との比較

著者が開発して, 3.1 ~ 3.9 に示した S 形の解法 B と, 3.10 に示した S 形の解法 A (その 1 ~ その 4) を比較しよう.

### 3.11.1 Osterloh の S 形の解法 (その 1) との比較

S 形の解法 B と 3.10.1 に示した Osterloh の S 形の解法 (その 1) A を比較しよう.

#### (I) 解法 B の A に対する長所

イ) B は, 自動車が連続して異方向に 2 回  $\theta_1, \theta_2$  だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡 49

種類を求めることができる。Aによって求めることができるS形は、表3.1に示した49種類のS形のうち、3番に示した自由度3のS形 $(S)=(\bar{K})_1+(\bar{K})_2$ である。自由度4のS形 $(\bar{S})=(\bar{K})_1+(\bar{K})_2$ 、および他の48種類のS形を求めることはできない。

ロ) Bは、4～6つの線形要素から構成されるS形を求めることができる。Aによって求めることができるS形の線形要素の数は2である。

ハ) Bの計算法は、Aの計算法より簡素化されている。すなわち、Bの計算法は直接法である。一方、Aの計算法は計算図を用いた試算法である。

ニ) Bは、計算条件に3本の測線を組み込むことができる。Aはできない。

#### (2) 解法BのAに対する短所

イ) Aは、固定された2～ $n$ 個の円に対して、1～( $n-1$ )個の $(S)=(\bar{K})_1+(\bar{K})_2$ を求めることができる。Bはできない。

ロ) Aは、曲率半径 $R$ をまるめた値とすることができる。Bはできない。

#### 3.11.2 OsterlohのS形の解法(その3)との比較

S形の解法Bと3.10.3に示したOsterlohのS形の解法(その3)Aを比較しよう。

##### (1) 解法BのAに対する長所

イ) Bは、自動車が連続して異方向に2回 $\theta_1, \theta_2$ だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡49種類を求めることができる。Aによって求めることができるS形は、表3.1に示した49種類のS形のうち、6つの線形要素を持つ4種類のS形、④番、⑦番、㊸番のイ)、ロ)に示したS形〔ただし、 $(\bar{S})$ の欄に示した自由度のS形は除く〕を求めることができる。しかし、他の45種類のS形を求めることはできない。

ロ) Bの計算法は、Aの計算法より簡素化されている。Aは、円固定法における式 $M_1M_2=[(R_1+R_2+\Delta R_{w1}+\Delta R_{w2})^2+(XM_{w1}+XM_{w2})^2]^{1/2}$ 、 $\tan \delta=(XM_{w1}+XM_{w2})/(R_1+R_2+\Delta R_{w1}+\Delta R_{w2})$ を用いている。Bはこれらの式を用いる必要はない。Aでは、座標変換をしなければならない。Bではその必要はない。したがって、Aは卓上計算機で求める場合、電子計算機で求める場合ともにBよりその計算法は、はるかに複雑である。これは円固定法のI.P法に対する限界を示している。

ハ) Aでは、計算の結果、S形における6つの曲線長の比率が得られることとなっている。したがって、Aは、S形を構成する6つの線形要素の曲線長を制御できる方法ではない。Bは、4～6つの線形要素の曲線長を制御できる。

たとえば、3.10.3.3に示したOsterlohのS形の解法(その3)による計算例の計算結果(表3.53参照)を図示すると、図3.17のようである。また、この計算例における3つの計算条件(3つの測線、すなわち、 $\theta_1, \theta_2, D$ )を用いて著者が本論文に提案した望ましいS形の計算結果(表3.30参照)を図示すると、図3.8のようである。図3.17に示したS形では、6つの曲線長 $L_{11}, LC_1, L_{12}, L_2, LC_2, L_2$ は制御されていない。これに対して図3.8に示したS形では、6つの曲線長 $L_1, LC_1, L_1, L_2, LC_2, L_2$ は良く制御されている。

道路路線における線形要素の曲線長の比率は、交通の安全性、ならびに、快適性と密接な関係があ

るといわれている。

ニ) Aでは、計算の結果、S形における主測線が与えられることとなっている。したがって、AはI.P法になじみ難い。Bでは、主測線を求める3本の測線を計算条件に組み込むことができる。したがって、Bは、I.P法になじむ方法である。

#### (2) 解法BのAに対する短所

イ) 道路構造令には、設計速度によって一定範囲の緩和曲線長(クロソイド長)が定められている。Bは、このクロソイド長(A表に示されたクロソイド長)を計算条件に直接組み込むことができない。Aは、直接組み込むことができる。

ロ) Aは、S形におけるクロソイドの諸要素(曲率半径 $R$ とクロソイドのパラメーター $A$ )をまるめた値とすることができる。Bはできない。

### 3.11.3 S形の解法(その4)との比較

S形の解法Bと3.10.4に示したS形の解法(その4)Aを比較しよう。

イ) Bは、自動車が連続して異方向に2回 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡49種類を求めることができる。Aによって求めることができるS形は、表3.1に示した49種類のS形

表 3.56 S形の解法における従来の方法との比較

S形の解法 比較の項目	従 来 の 方 法				本 論 文 に提案した S形の解法 (B)
	Osterlohの S形の解法 (その1) (A)	S表による S形の解法 (その2) (A)	Osterlohの S形の解法 (その3) (A)	S形の解法 (その4) (A)	
1) 自動車が連続して異方向に2回 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡(49種類)のうち、求めることができる種類の数	1	1	4	1	49 (全部)
2) 求めることができる線形要素の数	2	2	6	4	2, 4, 5, 6 (全部)
3) S形を構成する線形要素の数Aに対して、その曲線長を制御できる線形要素の数B( $B/A$ )	2/2	0/2	4/6	0/4	2/2 4/4 5/5 6/6 (全部)
4) 計算法に関する簡素化の程度(上中下)	下	中	下	上	上
5) 試算法によらずに直接法で求めること。	×	△	○	○	○
6) 3つの測線を計算条件に組み込むこと。	×	×	×	○	○
7) 2つの固定した円相互間を2つのクロソイドで結ぶこと。	○	△	×	×	×
8) A表のクロソイドを計算条件に組み込むこと。	×	○	○	×	×
9) 曲率半径 $R$ をまるめた値とすること。	○	△	○	×	×
10) クロソイドのパラメーターをまるめた値とすること。	×	△	○	×	×

注) 3つの線形要素で構成されるS形は、道路路線の形状として望ましくない。したがってこの表では削除している(表3.1参照)。



のうち、②番に示した自由度3のS形 $(S)=(K)_1+(K)_2$ である。自由度4のS形 $(\bar{S})=(K)_1+(K)_2$ 、および他の48種類のS形を求めることはできない。

ロ) Bは、S形を構成する4～6つの線形要素の曲線長を制御できる。Aはできない。

#### 3.11.4 S形の解法(その1～4)との比較

S形の解法Bと(3.10.1～3.10.4)に示したS形の解法Aを比較して、その概要を示すと、表3.56のようである。表3.56について述べよう。

イ) ○, ×印: できる場合は○印, そして, できない場合は×印を記入している。

ロ) △印: できる場合もあり, また, できない場合もあるケースには△印を記入している。

ハ) 比較の項目1)～6): 本論文に提案したS形の解法は, その凡用性, 道路路線の形状について, 現在の課題であるとされている問題点に対する回答としての説得力, 計算法に関する簡素化の程度において, 従来の4つの方法と比較するとすべての項目において, 最もすぐれた方法である。

ニ) 比較の項目7)～10): これらの項目は, I. P法の円固定法に対する限界を示している。しかし, これらの項目を満足しなくても, 交通の安全性と快適性については全く無関係である。

#### 3.11.5 計算例の比較

同じ計算例を従来の解法Aと著者が開発した解法Bで求めている。これらについて, ここでとりまとめると, 次のようである。計算の結果はすべて一致している。

イ) BとOsterlohのS形の解法(その1)の比較: 表3.30と図3.8に示したS形,  $(S)=(C-K)_1+(C-K)_2$ のうち, 主測線をX軸とする2つのクロソイドから成立するS形 $(S)=(\bar{K})_1+(\bar{K})_2$ のパラメーターをOsterlohのS形の解法(その1)で求めると, 表3.49のようである。

ロ) BとOsterlohのS形の解法(その3)の比較: 3.9.3.3に示した計算例を解法Bで求めると, 表3.52, 3.53のようである。表3.54は, 解法A, Bによる計算の結果を比較している。表3.54における( )内の値は解法Aによる計算の結果を, また, 外書きは解法Bによる計算の結果を示す。

ハ) BとS形の解法(その4)の比較: 表3.41に示した計算例を, S形の解法(その4)で求めると, 表3.55のようである。

## 3.12 結 語

文献3)のp.117によると, S形に配置された3本の測線(図3.1参照)に対して, S形を求めることはできないとされている。本章は, この計算不可能であるとされていたS形に対して, 新しい解法を提案し, S形の性質を示し, そして, 道路路線の形状として望ましいS形を示した。S形は, 2つの平面線形 $(Y)_1, (Y)_2$ から成立している。本章に示した研究の結論を, 対称形の平面線形から成立するS形と, 非対称形の平面線形から成立するS形の2つに大別して述べよう。

#### 3.12.1 対称形の平面線形から成立するS形

従来自動車の走行上最も望ましいS形は, クロソイドのパラメーターを一定とするS形であるとされている。本章では, この方法に対して, さらに3つの方法を設定し, 合計4つの方法を比較検討し

た. すなわち,

第1位: パラメーターを一定とする方法

第2位: すべての曲線長を一定とする方法

第3位: 曲率半径を一定とする方法

第4位: 4つのクロソイドを合同とする方法

である. 第1位にランクされた方法は, 従来一般にいられている方法と一致している. したがって, 写真1.1に示した方法によって得られる道路トラバースに対して, 本章の3.5に示した具体的なS形の選定法は, ただちに実用に供することができる. 高知県では, 道路の建設にあたってすでに採用している.

### 3.12.2 非対称形の平面線形から成立するS形

自動車が任意の角度 $\theta$ だけ方向転換をするときの走行軌跡に対応する平面線形( $C=K$ )において, 自動車の走行上望ましい( $C=K$ )は, ( $C=K$ )を構成する3つの線形要素の曲線長が等差級数となる( $C=K$ )であることは第2章で述べた.

著者は, 非対称形の平面線形から成立するS形についても, S形を構成する4~6つの線形要素の曲線長が等差級数となるS形が自動車の走行上, 最も望ましいと考えている. このようなS形は, 対称形の平面線形から成立するS形において, 第2位にランクされている方法の応用であり, 今後に残された研究課題である. 本章の論文は, この研究課題に対して, 重要な資料を提供しているといえよう. 本章に提案したS形を構成する4~6つの線形要素の曲線長を制御する解法およびS形における諸要素の比率を7つの変数の関数として示す方法は, 従来開発されていない.

## 参 考 文 献

- 1) Klaus Pierre, Table de Clothoide, Union suisse des professionnels de la route, 1963, pp. 47~48.
- 2) Osterloh, Horst, Straßenplanung mit Klothoiden, Bauverlag, 1965, pp. 65~74.
- 3) 星 埜, クロソイドポケットブック, 改訂版, 日本道路協会, 1977.
- 4) 岡崎, 道路中心線の設計法, 山海堂, 1979.
- 5) Kasper, Hugo - Schürba Walter - Lorenz, Hans, Die Klothoied als Trassierungselement, Ferd. Dümmlers Verlag, 1968.
- 6) Lorenz, Trassierungs und Gestaltung von Straßen und Autobahnen, Bauverlag, 1971.

## 第4章 同方向に2回曲る道路路線の形状に関する研究

本章は、自動車が連続して同方向に2回 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ だけ方向転換をするときの走行軌跡に対応する平面線形について述べたものである。

### 4.1 概 説

第3章に示したS形、すなわち、自動車が連続して2回異方向に任意の角度 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ だけ方向転換をするときの走行軌跡に対応する平面線形、ならびに、それらの解法は、本章の研究課題に対して理論的には、ただちに、応用することができる。しかし、この応用は、工学上単曲線の場合に限り適当であるとされており、他の種類のS形については、適当でないとされている。この理由とその解決策について述べよう。

### 4.2 $\bar{C}$ 形

S形は、2つの平面線形 $(Y)_1$ 、 $(Y)_2$ から成立している(図3.2の $D_1 + D_2 = D$ の欄参照)。いま一方の平面線形 $(Y)_2$ を主測線を対称軸として対称移動すると、図3.3の $D_1 + D_2 = D$ の欄に示した平面線形が得られる。このようにして得られた平面線形を $\bar{C}$ 形の平面線形(以下、 $\bar{C}$ 形と呼び $(\bar{C})$ で示す)とすると、 $\bar{C}$ 形の性質とその解法は、S形の性質とその解法をただちに応用できる(表3.1と3.3のS形の解法参照)。しかし、 $\bar{C}$ 形を道路路線の形状として採用するためには、留意しなければならない工学上の問題点がある。これらについて述べよう。

#### 4.2.1 単曲線から成立する $\bar{C}$ 形

2つの単曲線 $(C)_1$ 、 $(C)_2$ から成立する $\bar{C}$ 形は、工学的にも問題はない。2.7.1は、2つの単曲線 $(C)_1$ 、 $(C)_2$ から成立する $\bar{C}$ 形の解法である。

#### 4.2.2 4つのクロソイドを持つ $\bar{C}$ 形

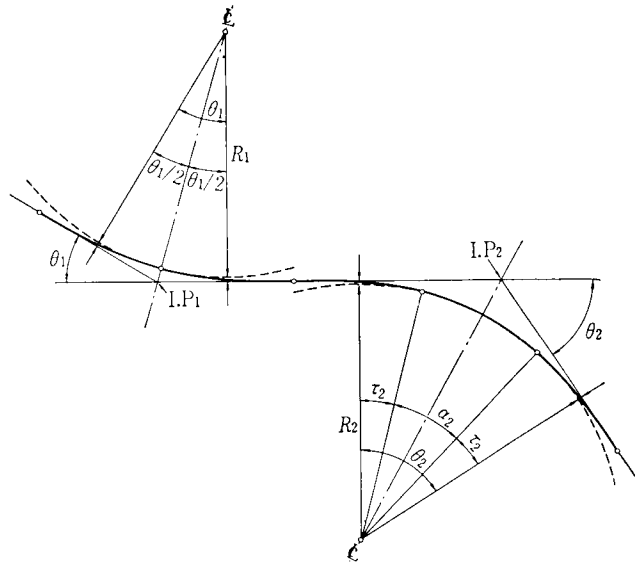
4つのクロソイドを持つS形は、16種類に分類されている(表3.1参照)。これらのS形を $\bar{C}$ 形として道路路線の形状(平面線形)に採用すると、自動車の走行上問題があるといわれている。たとえば、計算条件 $\theta_1 = 30^\circ 42'$ 、 $\theta_2 = 56^\circ 36'$ 、 $\tau_1 = \theta_1 / 2$ 、 $\tau_2 = \theta_2 / 4$ 、 $D = 145.210$ を与えて得られるS形(表4.1、図4.1参照)のハンドル操作図は、図4.2のようである。一方、図4.1の $(C-K)_2$ を主測線を対称軸として対称移動した $\bar{C}$ 形(図4.3参照)のハンドル操作図は、理論的には図4.4のようである。しかし、図4.3に示した $\bar{C}$ 形の平面線形に添って、自動車が走行する場合、運転者は、主測線上のクロソイド原点K Aの前後における線形が、カーブの内側(進行方向に向かって左側)の方向に凹んで見えるという錯覚を起すことから、図4.5のハンドル操作図に示したように自動車の運転者

表 4.1  $(S) = (K)_1 + (C-K)_2$  の計算表

諸要素	線形	$(UR, K)_1$	$(K)$	$(UR, C-K)_2$	$(C-K)_2$
道 路 交 角		$\theta = 30^\circ 42' 00'' (=0.535816)$		$\theta = 56^\circ 36' 00'' (=0.987856)$	
接 線 角		$\tau = 15^\circ 21' 00''$		$\tau = 14^\circ 09' 00''$	
外 線 長		$g = 0.049366$	$G = 5.239$	$g = 0.147268$	$G = 16.279$
パ ラ メ ー タ ー		$l = 0.731995$	$A = 77.685$	$l = 0.702800$	$A = 77.685$
曲 率 半 径		$r = 1.000000$	$R = 106.128$	$r = 1.000000$	$R = 110.537$
接 線 長		$d = 0.545051$	$D = 57.845$	$d = 0.790369$	$D = 87.365$
ク ロ ソ イ ド 長		$l^2 = 0.535816$	$L = 56.865$	$l^2 = 0.493928$	$L = 54.597$
単 曲 線 長		$lC = 0$	$LC = 0$	$lC = 0.493928$	$LC = 54.597$
曲 線 長		$Cl = 1.071632$	$CL = 113.730$	$Cl = 1.481784$	$CL = 163.792$
移 程 量		$\Delta = 0.011932$	$\Delta R = 1.266$	$\Delta = 0.010143$	$\Delta R = 1.121$
接 線 角 / 道 路 交 角		$\tau/\theta = 0.500000$		$\tau/\theta = 0.250000$	
単曲線長 / クロソイド長		$lC/l^2 = 0$		$lC/l^2 = 1.000000$	
パ ラ メ ー タ ー / 接 線 長		$k = 1.342984$		$k = 0.889205$	

注) 数表 1 を参照されたい。

はクロソイド原点 K A の前後で C 形に添わない複雑なハンドル操作をするとされている。道路路線の形状 (平面線形) を決めると、運転者のハンドル操作図は決まる。自動車の運転者がハンドル操作図に示した所定のハンドル操作をしないときは、道路路線の形状と自動車の走行軌跡は一致しない。自動車が走行する車線の幅には、自動車の車体の幅に対して一定の余裕幅はある。しかし、車体の走行軌跡がこの余裕幅を越えると、交通の安全対策上極めて危険である。このような問題点を解決するとともに、自動車が連続して同方向に 2 回任意の角度  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  だけ方向転換をするときの走行軌跡に対応する望ましい道路路線の形状について述べよう。

図 4.1  $(S) = (K)_1 + (C-K)_2$

### 4.3 U 形

S形の解法(3.3参照)において、接線長 $D_1, D_2$ を求める公式の分子 $D$ を $D$ に代えて $D + \Delta D$ とすると、S形を構成する2つの平面線形 $(Y)_1, (Y)_2$ は、主測線上で距離 $\Delta D$ だけ交差する(図3.2の $D_1 + D_2 - \Delta D = D$ の欄参照)。この性質は、 $\bar{C}$ 形の場合も同じである(図3.3の $D_1 + D_2 - \Delta D = D$ の欄参照)。接線長 $D_1, D_2$ を求める公式の分子 $D$ を $D$ に代えて $D + \Delta D$ として求めた $\bar{C}$ 形をU形の平面線形(以下U形と呼ぶ)と呼び(U)で示す。U形では、これを構成する

曲線長の記号		$L_1$	$L_1$	$L_2$	$LC_2$	$L_2$
平面線形	形	クロソイド	クロソイド	クロソイド	単曲線	クロソイド
曲線長		56.865	56.865	54.597	54.597	54.597
パラメーター または曲率半径		77.685	77.685	77.685	110.537	77.685
ハンドル操作	左					
	右					

図4.2  $(S) = (K)_1 + (C - K)_2$ のハンドル操作図

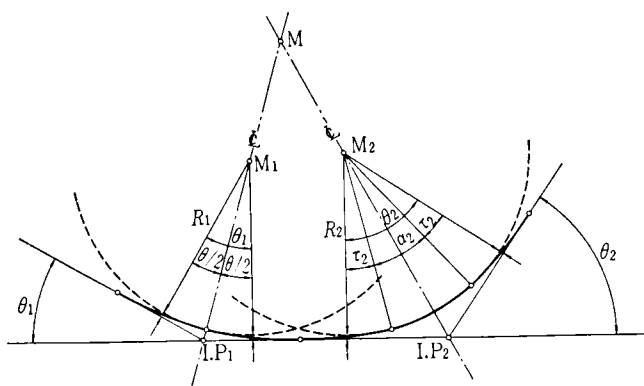


図4.3  $(\bar{C}) = (K)_1 + (C - K)_2$

曲線長の記号		$L_1$	$L_1$	$L_2$	$LC_2$	$L_2$
平面線形	形	クロソイド	クロソイド	クロソイド	単曲線	クロソイド
曲線長		56.865	56.865	54.597	54.597	54.597
パラメーター または曲率半径		77.685	77.685	77.685	110.537	77.685
ハンドル操作	左					
	右					

図4.4  $\bar{C}$ 形のハンドル操作図(理論)

曲線長の記号		$L_1$	$L_1$	$L_2$	$LC_2$	$L_2$
平面線形	形	クロソイド	クロソイド	クロソイド	単曲線	クロソイド
曲線長		56.865	56.865	54.597	54.597	54.597
パラメーター または曲率半径		77.685	77.685	77.685	110.537	77.685
ハンドル操作	左					
	右					

図4.5  $\bar{C}$ 形のハンドル操作図(実際)

2つの平面線形 $(Y)_1, (Y)_2$ の主測線をX軸とする2つのクロソイドは、距離 $\Delta D$ だけ交差する(図4.6, 4.7参照)。したがって、U形の平面線形に添って自動車が走行する場合、運転者は2つのクロソイドが交差する部分で、急激なハンドル操作をしなければならない。この問題点を解決するために、2つのクロソイドが交差する部分から適当な長さのクロソイドを削除し、削除した部分に2つの平面線形 $(Y)_1, (Y)_2$ に対する第3の平面線形として、単曲線 $(C)$ を挿入した平面線形を $\bar{U}$

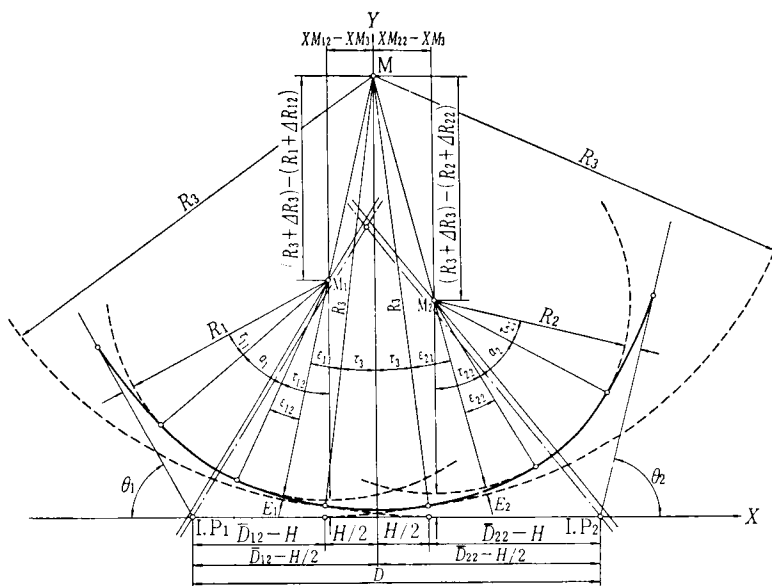


図 4.6  $(\bar{U}) = (C=K)_1 + (C=K)_2 - 2(\bar{K})_3 + (C)_3$

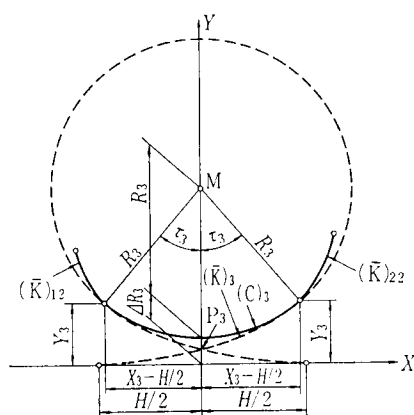


図 4.7 クロソイドが交差する部分の詳細図

形の平面線形（以下， $\bar{U}$ 形と呼ぶ）と呼び（ $\bar{U}$ ）で示す。

## 4.4 $\bar{U}$ 形

$\bar{U}$ 形について述べよう。

### 4.4.1 記号，名称と諸要素の公式

$\bar{U}$ 形を求めるために必要となる記号，名称，（ $\bar{U}$ ）に特有の諸要素の公式について述べよう。

イ) 記号と名称

i) 長さ  $D$  の測線を主測線と呼ぶ。

ii)  $\bar{U}$  を構成する2つの平面線形は,  $(C=K)_1$ ,  $(C=K)_2$  とする。

iii)  $(C=K)_1$  の主測線側のクロソイド  $(\bar{K})_{12}$  と,  $(C=K)_2$  の主測線側のクロソイド  $(\bar{K})_{22}$  が交差する部分の諸要素には添字3を付記する。2つのクロソイド  $(\bar{K})_{12}$ ,  $(\bar{K})_{22}$  のパラメーターは同じとする。

iv)  $(\bar{K})_{12}$ ,  $(\bar{K})_{22}$  の交点  $P_3$  を通り, 主測線に直交する直線を  $Y$  軸, そして, 主測線を  $X$  軸とする  $XY$  座標を設定する。

ロ) クロソイド原点

$I.P_1$ ,  $I.P_2$  から  $XY$  座標の原点までの距離は, それぞれ,  $\bar{D}_{12}-H/2$ ,  $\bar{D}_{22}-H/2$  である。 $(\bar{K})_{12}$ ,  $(\bar{K})_{22}$  のクロソイド原点の座標は,  $(H/2, 0)$ ,  $(-H/2, 0)$  である。そして,  $I.P_1$ ,  $I.P_2$  から最寄りのクロソイド原点までの距離は,  $\bar{D}_{12}-H$ ,  $\bar{D}_{22}-H$  である。

ハ)  $(\bar{K})_3$

$(\bar{K})_{12}$ ,  $(\bar{K})_{22}$  から削除するクロソイドを記号  $(\bar{K})_3$  で示す。 $(\bar{K})_3$  は  $XM_3=H/2$  と  $(\bar{K})_{12}$ ,  $(\bar{K})_{22}$  のパラメーター  $A$  ( $A=A_{12}=A_{22}$ ) を用いて単位クロソイド表から得られる。単位クロソイド表から求める  $(\bar{K})_3$  の諸要素は,  $L_3$ ,  $\tau_3$ ,  $R_3$ ,  $\Delta R_3$ ,  $XM_3$ ,  $X_3$ ,  $Y_3$  である。

ニ)  $LC_3$

$(\bar{U})$  から  $(\bar{K})_3$  を削除した部分に挿入する単曲線を  $(C)_3$  で示す。 $(C)_3$  の単曲線長  $LC_3$  は, 式  $LC_3=\pi \cdot R_3 \cdot \tau_3 / 90^\circ$  から得られる。

ホ)  $(\bar{K})_{12}$ ,  $(\bar{K})_{22}$  と  $(C)_3$  の交差

$(\bar{K})_{12}$  と  $(C)_3$ ,  $(\bar{K})_{22}$  と  $(C)_3$  の交点の座標はそれぞれ,  $\{-(X_3-H/2), Y_3\}$ ,  $\{(X_3-H/2), Y_3\}$  である。

ヘ) クロソイド長

$(\bar{K})_{12}$  から  $(\bar{K})_3$  を削除したクロソイドのクロソイド長は  $L_{12}-L_3$  である。また,  $(\bar{K})_{22}$  から  $(\bar{K})_3$  を削除したクロソイドのクロソイド長は  $L_{22}-L_3$  である。

ト) 曲線長

$(\bar{U})$  の曲線長  $CL$  は, 式  $CL=CL_1+CL_2-2L_3+LC_3$ , または, 式  $CL=L_{11}+LC_1+(L_{12}-L_3)+LC_3+(L_{22}-L_3)+LC_2+L_{21}$  から得られる。そして,  $(\bar{U})$  は, 一般に, 式  $(\bar{U})=(Y_1)+(Y)_2-2(\bar{K})_3+(C)_3$  で示すことができる。

チ)  $\varepsilon$

卵形における角度の諸要素  $\varepsilon_{11}$ ,  $\varepsilon_{12}$ ,  $\varepsilon_{21}$ ,  $\varepsilon_{22}$  を図4.6のようにきめると, これらは次の式から得られる。

$$\tan(\tau_3 + \varepsilon_{11}) = (XM_{12} - XM_3) / \{(R_3 + \Delta R_3) - (R_1 + \Delta R_{12})\}$$

$$\tan(\tau_3 + \varepsilon_{21}) = (XM_{22} - XM_3) / \{(R_3 + \Delta R_3) - (R_2 + \Delta R_{22})\}$$

$$\varepsilon_{12} = \tau_{12} - (\tau_3 + \varepsilon_{11})$$

$$\varepsilon_{22} = \tau_{22} - (\tau_3 + \varepsilon_{21})$$

リ)  $E$

半径  $R_3$  の円と半径  $R_1$  の円の距離を  $E_1$ , 半径  $R_3$  の円と半径  $R_2$  の円の距離を  $E_2$  とすると,  $E_1, E_2$  は, 次の式から得られる.

$$E_1 = R_3 - R_1 - [\{(R_3 + \Delta R_3) - (R_1 + \Delta R_{12})\}^2 + (X M_{12} - X M_3)^2]^{1/2}$$

$$E_2 = R_3 - R_2 - [\{(R_3 + \Delta R_3) - (R_2 + \Delta R_{22})\}^2 + (X M_{22} - X M_3)^2]^{1/2}$$

#### 4.4.2 $(\bar{C})$ , $(\bar{U})$ と $(C=K)$

$(\bar{C})$ ,  $(\bar{U})$  と  $(C=K)$  の関係について述べよう.  $(\bar{C})$  と  $(\bar{U})$  では, 式  $\lim_{H \rightarrow 0} (\bar{U}) = (\bar{C})$  が成立する.  $(\bar{U})$  における  $(C)_3$ ,  $R_3$  は  $(\bar{C})$  では, 次のようになる.

イ)  $(C)_3$  は,  $(\bar{C})$  では 2 つの平面線形の接点となる.

ロ)  $R_3, L C_3$  は,  $(\bar{C})$  では,  $R_3 = \infty, L C_3 = 0$  となる.

ハ)  $(\bar{U})$  において,  $\tau_1 = \tau_{12} = \tau_{21} = \tau_{22}$  とすると  $R_1 = R_2$  となる. さらに,  $R_1 = R_2 = R_3$  とすると, 式  $(\bar{U}) = (C=K)$  が成立する. そして, 曲率半径  $R_1, R_2, R_3$  の円の中心は, I. P<sub>1</sub>, I. P<sub>2</sub> における道路夾角の二等分線の交点となる.

#### 4.4.3 望ましい $\bar{U}$ 形

$\bar{U}$  形は, 7 つの線形要素から成立している. これら 7 つの線形要素の曲線長をおおよそ一定とする  $\bar{U}$  形が, 自動車の走行上最も望ましいとして  $\bar{U}$  形の選定をしよう. 写真 1.1 の方法によって得られた道路トラバースにおいて,  $\bar{U}$  形に設置された 3 つの測線では, 一般に, 式  $\theta_1 = \theta_2$  は成立しない. しかし,  $\bar{U}$  形を構成する 7 つの線形要素の曲線長のすべてが同一に近い  $\bar{U}$  形を選定するためには, 式  $\theta_1 = \theta_2$  が成立するときには, 7 つの線形要素の曲線長は, ほとんど同一となる  $\bar{U}$  形の選定法でなければならない. そのような選定法は, 次のようである.

##### (1) 曲線長の比率

$(C=K)_1$  の形は,  $\theta_1, \tau_{11} = \theta_1/m_1, \tau_{12} = \theta_1/m_2$  によって, また,  $(C=K)_2$  の形は,  $\theta_2, \tau_{12} = \theta_2/n_1, \tau_{22} = \theta_2/n_2$  によってきまる. ここにおいて,  $m_1 = 5, m_2 = 2.5, n_1 = 2.5, n_2 = 5$  とすると,  $(S) = (C=K)_1 + (C=K)_2$  における 6 つの曲線長の比率は,  $1 : [m_1 - \{1 + (m_1/m_2)\}] / 2 : m_1/m_2 : X : X[n_1 - \{1 + (n_1/n_2)\}] / 2 : X(n_1/n_2) = 1 : 1 : 2 : X : 0.5X : 0.5X$  となる. ここに,  $X = m_1 \{ \theta_2 / (\theta_1 \cdot m_2 \cdot n_1) \}^{1/2} = 2 (\theta_2/\theta_1)^{1/2}$  である. したがって,  $\theta_1 = \theta_2$  では, 6 つの曲線長の比率は,  $1 : 1 : 2 : 2 : 1 : 1$  となる. 曲線長の比率を 2 とするクロソイドから曲線長の比率を 1 とするクロソイドを削除し, 削除した部分に曲線長の比率を 1 とする単曲線を挿入すると,  $\bar{U}$  形を構成する 7 つの線形要素の曲線長の比率は,  $1 : 1 : (2-1) : 1 : (2-1) : 1 : 1 = 1 : 1 : 1 : 1 : 1 : 1 : 1$  となる.  $\theta_1 \neq \theta_2$  では,  $\bar{C}$  形における 6 つの曲線長の比率は,  $1 : d' : b' : d' : e' : f' = 1 : 1 : 2 : 2 (\theta_2/\theta_1)^{1/2} : (\theta_2/\theta_1)^{1/2} : (\theta_2/\theta_1)^{1/2}$  である. ここにおいて,  $c = (b' + d')/4, b = b' - c, d = d' - c, a = a', e = e', f = f'$  とおくと,  $\bar{U}$  形における 7 つの曲線長の比率は,  $1 : a : b : c : d : e : f = 1 : 1 : [2 - 0.5 \{1 + (\theta_2/\theta_1)^{1/2}\}] : 0.5 \{1 + (\theta_2/\theta_1)^{1/2}\} : [2 (\theta_2/\theta_1)^{1/2} - 0.5 \{1 + (\theta_2/\theta_1)^{1/2}\}] : (\theta_2/\theta_1)^{1/2} : (\theta_2/\theta_1)^{1/2}$  となる. ここでは, 式  $c = (b + c + d)/3$  が成立する. このような曲線長の比率を持つ線形要素から成立する  $\bar{U}$  形は, 自動車の走行上望ましい道路路線の形



状であるといえよう。

## (2) $H$ の計算法

$\bar{U}$ 形を求めるためには、2つの平面線形 $(C=K)_1$ 、 $(C=K)_2$ を主測線上で交差させる距離 $H$ (ここでは $AD$ に代えて $H$ で示す)を求なければならない。この計算法について述べよう。計算条件として与えられた3つの測線 $(\theta_1, \theta_2, D)$ に対応する $\bar{C}$ 形 $(\bar{C}) = (C=K)_1 + (C=K)_2$ および $\bar{C}$ 形における6つの曲線長の比率は所定の公式を用いて得られる。これらの計算の結果によって、距離 $H$ の近似値は次式から得られる。

$$H = D \cdot c \cdot L_{11} / (D - c \cdot L_{11})$$

ここに、 $L_{11}$ は、主測線の長さを $D$ とする $\bar{C}$ 形 $(\bar{C}) = (C=K)_1 + (C=K)_2$ のクロソイド長である。

### 4.4.4 $\bar{U}$ 形の解法

望ましい $\bar{U}$ 形の解法について述べよう。 $\bar{U}$ 形 $(\bar{U}) = (C=K)_1 + (C=K)_2 - 2(\bar{K})_3 + (C)_3$ の自由度は8である。 $\theta_1, \theta_2, D, m_1=5, m_2=2.5, n_1=2.5, n_2=5, \{(L_{12}-L_3)+LC_3+(L_{22}-L_3)\}/3=LC_3$ を与えて、 $\bar{U}$ 形を求める解法について述べよう。

#### (1) 計 算 法

イ)  $(UR, C=K)_1, (UR, C=K)_2: \theta_1, \tau_{11} = \theta_1/m_1 = \theta_1/5, \tau_{12} = \theta_1/m_2 = \theta_1/5$ から $(UR, C=K)_1$ を、 $\theta_2, \tau_{12} = \theta_2/n_1 = \theta_2/2.5, \tau_{22} = \theta_2/n_2 = \theta_2/5$ から $(UR, C=K)_2$ を求める。

ロ)  $L_{11}: (UR, C=K)_1, (UR, C=K)_2, D$ を用いて、 $(\bar{C}) = (C=K)_1 + (C=K)_2$ におけるクロソイド長 $L_{11}$ を求める。

ハ) 7つの曲線長の比率: $\bar{U}$ 形における7つの曲線長の比率、 $1:a:b:c:d:e:f=1:1:[2-0.5\{1+(\theta_2/\theta_1)^{1/2}\}]:0.5\{1+(\theta_2/\theta_1)^{1/2}\}:[2(\theta_2/\theta_1)^{1/2}-0.5\{1+(\theta_2/\theta_1)^{1/2}\}]:(\theta_2/\theta_1)^{1/2}:(\theta_2/\theta_1)^{1/2}$ を求める。

ニ)  $H$ : 式 $H = D \cdot c \cdot L_{11} / (D - c \cdot L_{11})$ から $H$ を求める。ここに、 $c$ は、ハ)に示した曲線長の比率における値である。

ホ)  $R_1, R_2$ : 式 $R_1 = D_1/\bar{d}_{12}, R_2 = D_2/\bar{d}_{22}$ を用いて $R_1, R_2$ を求める。ここに $D_1 = (D+H)/\{1+(k_1/k_2)\}, D_2 = (D+H)/\{1+(k_2/k_1)\}, k_1 = l_{12}/\bar{d}_{12}, k_2 = l_{22}/\bar{d}_{22}$ である。

ヘ)  $(C=K)_1, (C=K)_2$ : 式 $(C=K)_1 = R_1(UR, C=K)_1, (C=K)_2 = R_2(UR, C=K)_2$ から $(C=K)_1, (C=K)_2$ を求める。

ト) 特有の諸要素: $\bar{U}$ 形に特有の諸要素を求める。

#### (2) 計 算 例

$\theta_1 = 61^\circ 28', \tau_{11} = 12^\circ 17' 36'' (= \theta_1/5), \tau_{12} = 24^\circ 33' 54'' (= \theta_1/2.5), \theta_2 = 76^\circ 36', \tau_{21} = 15^\circ 19' 12'' (= \theta_2/5), \tau_{22} = 30^\circ 37' 45'' (= \theta_2/2.5), D = 351.520 m, \{(L_{12}-L_3)+LC_3+(L_{22}-L_3)\}/3 = LC_3$ を与えて $\bar{U}$ 形を求めよう。

イ)  $(UR, C=K)_1, (UR, C=K)_2: \theta_1, \tau_{11}, \tau_{12}$ から $(UR, C=K)_1$ を、 $\theta_2, \tau_{12}, \tau_{22}$ から $(UR, C=K)_2$ を求めると、表4.2のようである。

表 4.2 (UR, C, K)<sub>1</sub>, (UR, C, K)<sub>2</sub> の計算表

線形要素	(UR, C, K) <sub>1</sub>			(UR, C, K) <sub>2</sub>		
	(UR, C, K) <sub>11</sub>	(UR, C, K) <sub>12</sub>	(UR, C, K) <sub>11</sub>	(UR, C, K) <sub>21</sub>	(UR, C, K) <sub>22</sub>	(UR, C, K) <sub>22</sub>
道路交角	$\tau_{11} = 12^\circ 17' 36''$	$\theta_1 = 61^\circ 28' 00'' (= 1.072796)$		$\tau_{21} = 15^\circ 19' 12''$	$\theta_2 = 76^\circ 36' 00'' (= 1.336922)$	
接線角, 回転角	$\tau_{12} = 24^\circ 33' 54''$	$\tau_{12} = 24^\circ 33' 54''$	$\delta_1 = 1^\circ 16' 36''$	$\tau_{22} = 30^\circ 37' 45''$	$\tau_{22} = 30^\circ 37' 45''$	$\delta_2 = 1^\circ 37' 48''$
外線	$g_{11} = 0.172305$	$g_{12} = 0.198801$	$d g_1 = 0.026496$	$g_{21} = 0.289394$	$g_{22} = 0.334324$	$d g_2 = 0.044930$
パラメーター, 外線長	$l_{11} = 0.655071$	$l_{12} = 0.926000$	$(g_{11} + g_{12})/2 = 0.185553$	$l_{21} = 0.731279$	$l_{22} = 1.034000$	$(g_{21} + g_{22})/2 = 0.311859$
半径, 接線長	$r = 1.000000$	$l_{12} \cdot x M_{12} = 0.426124$	$d d_1 = 0.025923$	$r = 1.000000$	$l_{22} \cdot x M_{22} = 0.529526$	$d d_2 = 0.036247$
接線	$d_{11} = 0.813328$	$d_{12} = 1.038764$	$\bar{d}_{11} = 0.839251$	$d_{21} = 1.065888$	$d_{22} = 1.356512$	$\bar{d}_{21} = 1.102135$
クロソイ	$l_{11}^2 = 0.429118$	$l_{12}^2 = 0.857476$	$l_{11}^2 + l_{12}^2 = 1.286594$	$l_{21}^2 = 0.534769$	$l_{22}^2 = 1.069156$	$l_{21}^2 + l_{22}^2 = 1.603925$
単曲線	$l C_{11} = 0.643678$	$l C_{12} = 0.215320$	$l C_1 = 0.429499$	$l C_{21} = 0.802153$	$l C_{22} = 0.267766$	$l C_2 = 0.534960$
曲線	$C l_{11} = 1.501914$	$C l_{12} = 1.930272$	$C l_1 = 1.716093$	$C l_{21} = 1.871691$	$C l_{22} = 2.406078$	$C l_2 = 2.138885$
移動	$d_{11} = 0.007660$	$d_{12} = 0.030436$		$d_{21} = 0.011885$	$d_{22} = 0.047146$	
接線角/道路交角	$\tau_{11}/\theta_1 = 0.200000$	$\tau_{12}/\theta_1 = 0.399645$	$\tau_{11}/\theta_1 + \tau_{12}/\theta_1 = 0.599648$	$\tau_{21}/\theta_2 = 0.200000$	$\tau_{22}/\theta_2 = 0.399857$	$\tau_{21}/\theta_2 + \tau_{22}/\theta_2 = 0.599859$
曲線長の比	$l_{11}^2 : l C_1 : l_{12}^2 : L_{11} : L_{12} = 1 : 1.000882 : 1.998213$			$l_{21}^2 : l C_2 : l_{22}^2 : L_{21} : L_{22} = 1 : 1.000359 : 1.999292$		

(注)  $k_1 = l_{12}/d_{12} = 0.914260$ ,  $k_2 = l_{22}/d_{22} = 0.783176$  である。表 4.3 (S) = (C=K)<sub>1</sub> + (C=K)<sub>2</sub> の計算表

線形要素	(C=K) <sub>1</sub>			(C=K) <sub>2</sub>		
	(C=K) <sub>11</sub>	(C=K) <sub>12</sub>	(C=K) <sub>11</sub>	(C=K) <sub>21</sub>	(C=K) <sub>22</sub>	(C=K) <sub>22</sub>
道路交角	$\theta_1 = 61^\circ 28' 00''$				$\theta_2 = 76^\circ 36' 00''$	
接線角, 回転角	$\tau_{11} = 12^\circ 17' 36''$	$\tau_{12} = 24^\circ 33' 54''$	$\delta_1 = 1^\circ 16' 36''$	$\tau_{21} = 15^\circ 19' 12''$	$\tau_{22} = 30^\circ 37' 45''$	$\delta_2 = 1^\circ 37' 48''$
外線	$G_{11} = 34.787$	$G_{12} = 40.136$	$G_1 = 37.512$	$G_{21} = 52.324$	$G_{22} = 60.447$	$G_2 = 8.124$
パラメーター, 外線長	$A_{11} = 132.254$	$A_{12} = 186.952$	$(G_{11} + G_{12})/2 = 37.462$	$A_{21} = 132.219$	$A_{22} = 186.952$	$(G_{12} + G_{22})/2 = 56.386$
半径, 接線長	$R_1 = 201.892$	$X M_{12} = 86.031$	$d D_1 = 5.234$	$R_2 = 180.805$	$X M_{22} = 95.741$	$d D_2 = 6.554$
接線	$D_{11} = 164.205$	$D_{12} = 209.718$	$\bar{D}_{11} = 169.438$	$D_{21} = 192.718$	$D_{22} = 245.264$	$\bar{D}_{21} = 199.271$
クロソイ	$L_{11} = 86.636$	$L_{12} = 173.118$	$L_{11} + L_{12} = 259.753$	$L_{21} = 96.689$	$L_{22} = 193.309$	$L_{21} + L_{22} = 289.997$
単曲線	$L C_{11} = 129.954$	$L C_{12} = 43.471$	$L C_1 = 86.712$	$L C_{21} = 145.033$	$L C_{22} = 48.413$	$L C_2 = 96.723$
単線	$C L_{11} = 303.225$	$C L_{12} = 389.707$	$C L_1 = 346.466$	$C L_{21} = 338.411$	$C L_{22} = 435.031$	$C L_2 = 386.721$
移動	$d R_{11} = 1.546$	$d R_{12} = 6.145$		$d R_{21} = 2.149$	$d R_{22} = 8.524$	

$$D = \bar{D}_{11} + \bar{D}_{21} = 443.195$$

ロ)  $L_{11} : D_1 = D / \{1 + (k_1/k_2)\} = 351.520 / \{1 + (0.914260/0.783176)\} = 162.186977$ ,  $R_1 = D_1/\bar{d}_{12} = 162.186977/1.012841 = 160.130738$  であらう,  $L_{11} = R_1 \cdot l_{11}^2 = 160.130738 \times 0.429118 = 68.715$  となる.

ハ) 7つの曲線長の比率:  $(\theta_2/\theta_1)^{1/2} = (4596/3688)^{1/2} = 1.116335$ ,  $b = (2 - 0.5 \times 2.116335) = 0.941832$ ,  $c = 0.5 \times 2.116335 = 1.058168$ ,  $d = (2 \times 1.116335 - 0.5 \times 2.116335) = 1.174502$  であるから,  $1:a:b:c:d:e:f = 1:1:0.941832:1.058168:1.174502:1.116335:1.116335$  となる.

ニ)  $H : c \cdot L_{11} = 1.058168 \times 68.715 = 72.712$  であるから  $H = D \cdot c \cdot L_{11} / (D - c \cdot L_{11}) = 351.520 \times 72.712 / (351.520 - 72.712) = 91.675$  となる.

ホ)  $R_1, R_2 : D_1 = (D + H) / \{1 + (k_1/k_2)\} = (351.520 + 91.675) / \{1 + (0.914260/0.783176)\} = 204.484688$  であるから  $R_1 = D_1/\bar{d}_{12} = 204.484688/1.012841 = 201.892190$ , そして,  $D_2 = (D + H) / \{1 + (k_2/k_1)\} = (351.520 + 91.675) / \{1 + (0.783176/0.914260)\} = 238.710282$  であるから  $R_2 = D_2/\bar{d}_{22} = 238.710282/1.320265 = 180.804825$  となる.

ヘ)  $(C=K)_1, (C=K)_2$ : 式  $(C=K)_1 = R_1 (UR, C=K)_1$ ,  $(C=K)_2 = R_2 (UR, C=K)_2$  から  $(C=K)_1, (C=K)_2$  を求めると, 表4.3のようである.

ト) 特有の諸要素:  $(\bar{U})$  に特有の諸要素を求めると, 表4.4のようである.

表4.4の7つの曲線長の比は, 計算結果と理論値の2つを示している. 両者の差は, 次の理由によって生じたものである.

イ)  $\tau_{12} = \theta_1/2.5$ ,  $\tau_{22} = \theta_2/2.5$  である.

ロ)  $LC_3 < H$  である.

理論値は, 式  $\tau_{12} = \theta_1/2.5$ ,  $\tau_{22} = \theta_2/2.5$ ,  $LC_3 = H$  が成立することを前提条件としている.

表4.4  $(\bar{U})$  に特有の諸要素

$H$	91.675	$\epsilon_{12}$	$11^\circ 33' 15''$	$CL$	641.468
$H/2$	45.838	$\epsilon_{21}$	$7^\circ 37' 37''$	$(\bar{K})_3$	
$\bar{D}_{12} - H$	112.810	$\epsilon_{22}$	$16^\circ 06' 25''$		
$\bar{D}_{22} - H$	147.035	$L_1$	86.636	$L_3$	91.719
$\bar{D}_{12} - H/2$	158.647	$LC_1$	86.712	$\tau_3$	$6^\circ 53' 43''$
$\bar{D}_{22} - H/2$	192.872	$L_{12} - L_3$	81.399	$R_3$	381.066
$X_3 - H/2$	45.748	$LC_3$	91.719	$\Delta R_3$	0.919
$E_1$	0.643	$L_{22} - L_3$	101.590	$XM_3$	45.837
$E_2$	1.247	$LC_2$	96.723	$X_3$	91.586
$\epsilon_{11}$	$6^\circ 06' 56''$	$L_{21}$	96.689	$Y_3$	3.675

7つの曲線長の比 86.636 : 86.712 : 81.399 : 91.719 : 101.590 : 96.723 : 96.689

$\approx 1 : 1.000878 : 0.939552 : 1.058671 : 1.172608 : 1.116430 : 1.116038$

理論値  $(\approx 1 : 1.000000 : 0.941832 : 1.058168 : 1.174502 : 1.116335 : 1.116335)$

この計算例で求めた $\bar{U}$ 形に添って、自動車が走行するときのハンドル操作図を示すと、図4.8のようである。

#### 4.4.5 Osterlohの卵形の解法

$\bar{U}$ 形は、2つの卵形 $\{(\bar{K})_{12} - (\bar{K})_3\}$ と $(\bar{K})_{22} - (\bar{K})_3\}$ を含んでいる。円固定法におけるOsterlohの卵形の解法について述べよう(図4.9参照)。図4.9の2つの円のように小円が大円に内包され、

そして、同心円となっていない2つの円相互間には、卵形のクロソイド $(\bar{K})_1 - (\bar{K})_2$ で結ぶことができる。卵形のクロソイド $(\bar{K})_1 - (\bar{K})_2$ ( $P_1 \sim P_2$ )の自由度は3である。したがって、3つの計算条件 $D_a$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ を与えると、卵形のクロソイド(以下、卵形と呼ぶ)はきまる。このようにして卵形を求める解法は、一般に、Osterlohの卵形の解法と呼ばれている。これについて述べよう。

この解法は、計算図(図4.10参照)を用いた試算法である。卵形 $(\bar{K})_1 - (\bar{K})_2$ は、パラメーターを同一とする

2つのクロソイド $(\bar{K})_1$ ,  $(\bar{K})_2$ の差である。2つの円の半径 $R_1$ ,  $R_2$ に対して、共通のパラメーター $A$ がきまると $(\bar{K})$ の自由度は2(表2.46.1参照)であるから、卵形 $(\bar{K})_1 - (\bar{K})_2$ はきまる。したがって、計算図を用いると、計算条件として与えられた3つの条件 $D_a$ ,  $R_1$ (大きい円の半径),  $R_2$ (小さい円の半径)から、共通のパラメーター $A$ の近似値が得られる。そして、試算法によって $A$ の厳密解が得られることとなっている。3つの計算条件 $R_1$ ,  $R_2$ ,  $D_a$ から卵形 $(\bar{K})_1 - (\bar{K})_2$ のパラメーターを求める計算法は、次のようである。

##### (1) 計 算 法

イ) 計算条件から求めた2つの値,  $R_2/R_1$ ,  $D_a/R_1$ を用いて、計算図から $A_1/R_1 = a$ を求める。ここに、 $A_1$ は $A$ の第1近似値である。

ロ) 式 $A_1 = a \cdot R_1$ から $A_1$ を求める。

ハ)  $A_1$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ から、2つの円の中心点間の距離の第1近似値 $(\overline{M_1 M_2})_1$ を式 $(\overline{M_1 M_2})_1 = \{(R_1 + \Delta R_1) - (R_2 + \Delta R_2)^2 + (X_{M_2} - X_{M_1})^2\}^{1/2}$ から求める。ここに、 $\Delta R_1$ ,  $X_{M_1}$ は $A_1$ ,  $R_1$ から、また、 $\Delta R_2$ ,  $X_{M_2}$ は $A_1$ ,  $R_2$ から、求めたクロソイドの要素である。

ニ) ロ)で求めた $A_1$ は近似値であるから、一般に、式 $R_1 - R_2 - D_a = (\overline{M_1 M_2})_1$ は成立しない。右辺の値が左辺の値より小さい(大きい)ときは、 $A_1$ より大きい(小さい) $A_2$ を $A$ の第2近似値として

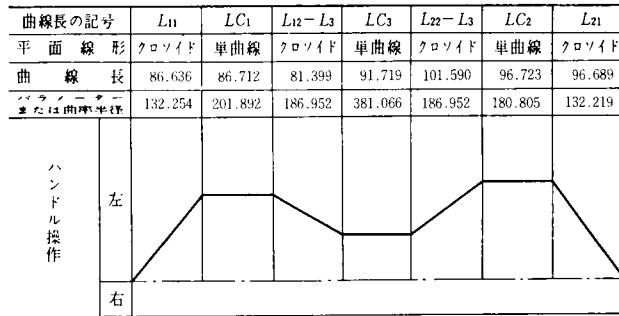


図4.8  $(\bar{U}) = (C=K)_1 + (C=K)_2 - 2(\bar{K})_3 + (C)_3$   
のハンドル操作図

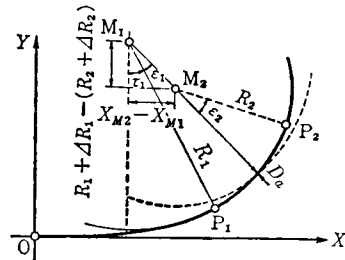


図4.9 卵 形

へ)と同様の方法で、2つの円の中心点間の距離の第2近似値 $(\overline{M_1 M_2})_2$ を求める。

ホ) 2組の値、 $A_1$ 、 $(\overline{M_1 M_2})_1$ および $A_2$ 、 $(\overline{M_1 M_2})_2$ と計算条件として与えられた2つの円の中心点間の距離 $R_1 - R_2 - D_a$ を用いた内挿法で、 $A$ の第3近似値 $A_3$ を求める。

へ) 計算法へ、ニ、ホ)を一般に、 $2n+1$ 回繰返すと、式 $R_1 - R_2 - D_a = (\overline{M_1 M_2})_{2n+1}$ が成立することとなる。このときのパラメーター $A_{2n+1}$ は、厳密解 $A$ である。

この計算法において、計算条件として与えられた $D_a$ を $\Delta D_a$ だけ変更しても支障のないときは、 $A$ の近似値 $A_n$ を厳密解とすることもできる。この場合は、式 $R_1 - R_2 - D_a + \Delta D_a = (\overline{M_1 M_2})_n$ が成立することとなる。

以上に示したOsterlohの卵形の解法は、3.10.1に示したOsterlohのS形の解法によく似ている。一般に、5～7回の試算をすると厳密解が得られる。

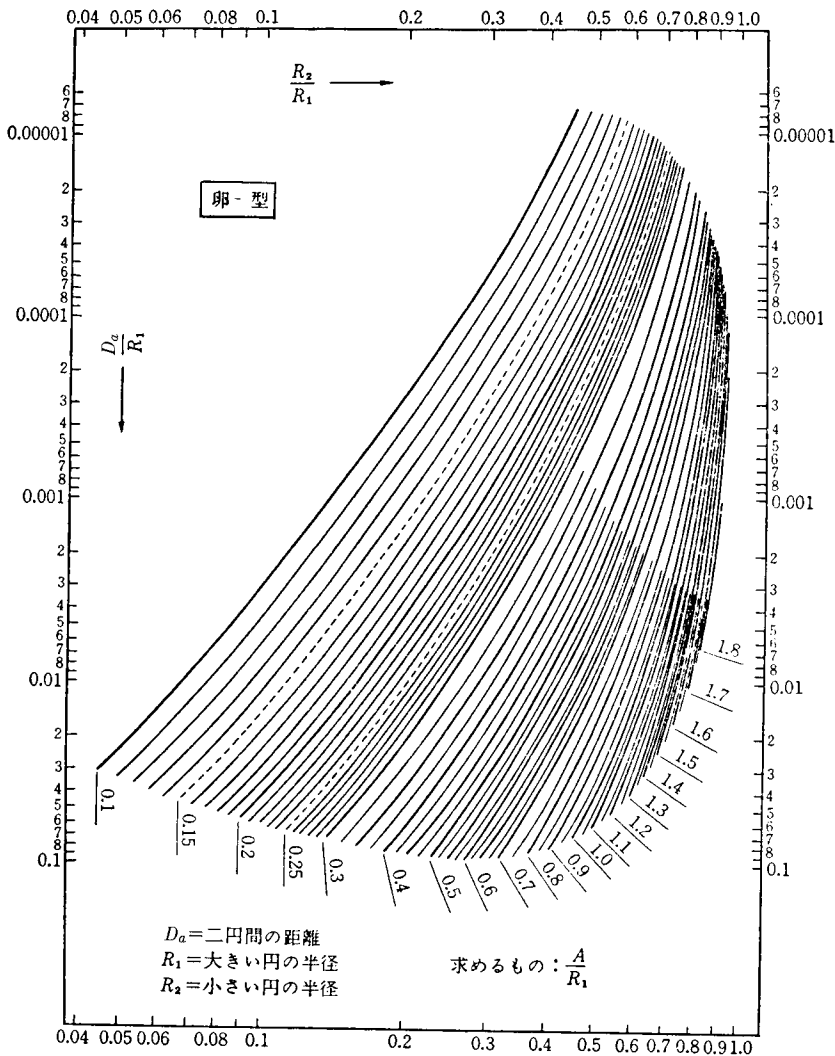


図 4.10 卵形の計算図 (Osterloh)

## (2) 解法の評価

この解法は、固定された円相互間を卵形  $(\bar{K})_1 - (\bar{K})_2$  で結ぶ方法であり、円固定法の基本的な解法である。この解法を、さらに、簡素化することは不可能であろう。

## 4.4.6 従来の解法との比較

本章に提案した  $\bar{U}$  形の解法  $B$  と従来の解法  $A$  と比較しよう。文献 1) の P.117 に、I.P 法では卵形は形算不可能であると書かれている。したがって、円固定法で  $\bar{U}$  形を求める解法を従来の解法  $A$  とし、比較しよう。まず、円固定法で  $\bar{U}$  形を求める解法について述べよう。

(1) 円固定法による  $\bar{U}$  形の解法と曲線長の制御

図 4.11 は、写真 1.1 の参考図のように、 $\bar{U}$  形を I.P 法で求める解法と円固定法で求める解法の参考図である。そして、表 4.5 は 2 つの解法の概要を比較している。図 4.11 と表 4.5 を参考としながら円固定法による  $\bar{U}$  形の解法について述べよう。

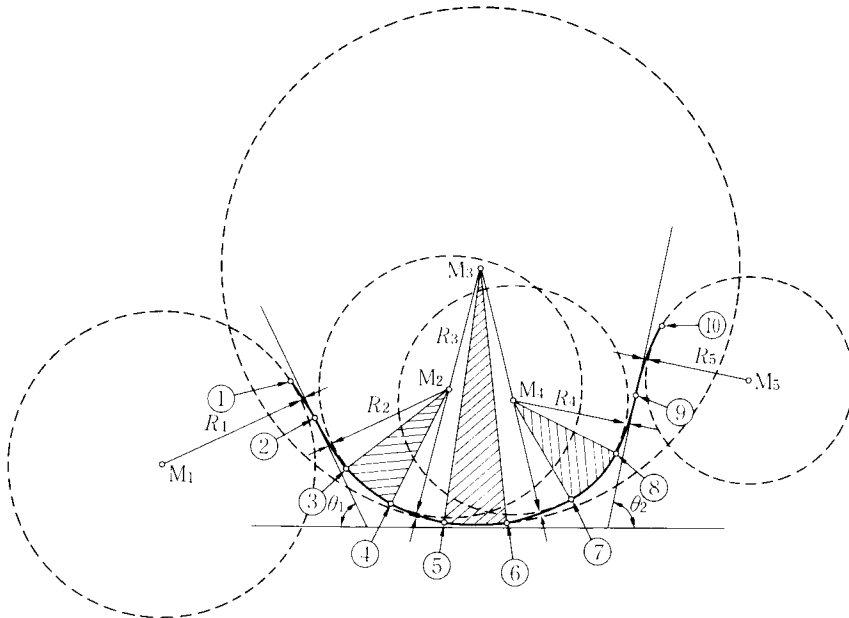
表 4.5 図 4.11 の解説

線形要素の 起 終 点	線形要素の記号	線形要素の 名 称	従 来 の 解 法 A		本論文に提 案した解法 B
			解 法	2 つの円	
①～②	$(\bar{K})_1$	クロソイド	OsterlohのS形の解法(その1)	円 $M_1$ と円 $M_2$	U形の解法
②～③	$(\bar{K})_2$	クロソイド			
③～④	$(C)_1$	単 曲 線			
④～⑤	$(\bar{K})_{12}-(\bar{K})_3$	卵 形	Osterlohの卵形の解法	円 $M_2$ と円 $M_3$	
⑤～⑥	$(C)_2$	単 曲 線			
⑥～⑦	$(\bar{K})_{22}-(\bar{K})_3$	卵 形	Osterlohの卵形の解法	円 $M_4$ と円 $M_3$	
⑦～⑧	$(C)_3$	単 曲 線			
⑧～⑨	$(K)_4$	クロソイド	OsterlohのS形の解法(その1)	円 $M_4$ と円 $M_5$	
⑨～⑩	$(\bar{K})_5$	クロソイド			

$\bar{U}$  形は円固定法によると、5 つの固定された円によって得られる。たとえば、円の中心を点  $M_1$  とする半径  $R_1$  の円を円  $M_1$  で示すと、5 つの固定された円は、円  $M_1$ 、円  $M_2$ 、円  $M_3$ 、円  $M_4$ 、円  $M_5$  である。固定された 2 つの円、円  $M_1$  と円  $M_2$  相互間は、Osterloh の S 形の解法を用いて S 形  $(S) = (\bar{K})_1 + (\bar{K})_2$  が得られる。また、固定された 2 つの円、円  $M_4$  と円  $M_5$  相互間は、同じ解法を用いて S 形  $(S) = (\bar{K})_4 + (\bar{K})_5$  が得られる。そして、固定された 2 つの円、円  $M_2$  と円  $M_3$  相互間は Osterloh の卵形の解法を用いて、卵形  $(\bar{K})_{12} - (\bar{K})_3$  が得られる。また、固定された 2 つの円、円  $M_4$  と円  $M_3$  相互間は、同じ解法を用いて卵形  $(\bar{K})_{22} - (\bar{K})_3$  が得られる。次に、この解法の性質について述べよう。

イ) 円固定法の自由度：固定された 5 つの円の計算条件の数は 10 である。点  $M_1 \sim M_5$  で 5、そして、半径  $R_1 \sim R_5$  で 5、合計 10 である。円固定法では、10 の計算条件から  $\bar{U}$  形を含む 9 つの線形要素が得られる。

ロ) I.P 法の自由度：図 4.11 において、3 つの測線内における  $\bar{U}$  形の自由度は 8 である。これら 8 つの計算条件に曲率半径  $R_1$  と  $R_5$  を加えると 10 の計算条件となり、この数字は円固定法の自由度と一致する。I.P 法では、8 つの計算条件から 7 つの線形要素から成立する  $\bar{U}$  形が得られる。

図4.11  $\bar{U}$ 形の参考図

ハ) 円固定法による曲線長の制御: 2つのクロソイド  $(\bar{K})_1$ ,  $(\bar{K})_2$  のクロソイド長をそれぞれ  $L_1$ ,  $L_2$  とすると, 与えられた2つの計算条件  $R_1$ ,  $R_2$  から  $L_2$  の  $L_1$  に対する比率  $L_2/L_1 = R_1/R_2$  は得られる. また,  $L_4/L_5 = R_5/R_4$  も得られる. しかし, 与えられた10の計算条件から9つの曲線長の比  $L_1:L_2:LC_1:L_{12}-L_3:LC_2:L_{22}-L_3:LC_3:L_4:L_5$  を直接求めることも, また, 9つの曲線長の比  $1:a:b:c:d:e:f:g:h$  を計算条件に組み込むことも不可能である. 9つの曲線長の比は, 2つの Osterloh のS形の解法と2つの Osterloh の卵形の解法を用いた試算の結果始めて得られる. これらの事情は, 写真1.1の参考図の場合も同様である. したがって, 円固定法では, この種の研究における現在の課題であるとされている曲線長の制御は極めて困難であるといえる.

## (2) 従来の解法との比較

円固定法で $\bar{U}$ 形を求める従来の解法Aと, 本章に提案した解法Bを比較しよう.

### ア) BのAに対する長所

イ)  $\bar{U}$ 形をAで求めるためには, 4つの試算, すなわち, OsterlohのS形の解法(その1)2つと Osterloh の卵形の解法2つの試算をしなければならない. したがって, 1つの試算に5回の計算が必要であるとすると合計20回の計算をしなければならない.  $\bar{U}$ 形をBで求めると計算の回数は1回でよい. したがって, BはAに比べると極めて簡素化された解法であるといえる.

ロ) Aは,  $\bar{U}$ 形における7つの曲線長を制御できない, Bは, 7つの曲線長をおおよそ一定とすることができる. 写真4.1はライン川のほとり, クラーネン山(Krahenberg)を抱くようにして建設されたドイツのアウトバーンの写真である. 図4.12は, この写真に撮影されたアウトバーン近傍のハンドル操作図である. この線形は,  $\bar{U}$ 形とS形から構成されている. 図4.12と図4.8

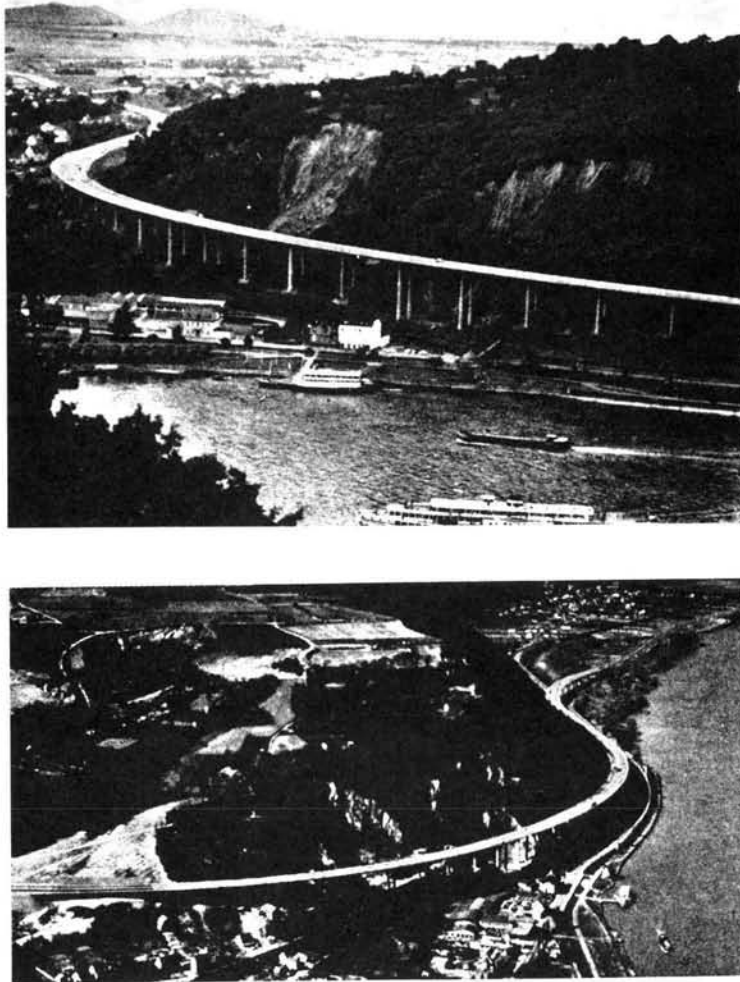


写真4.1 ライン川とアウトバーン

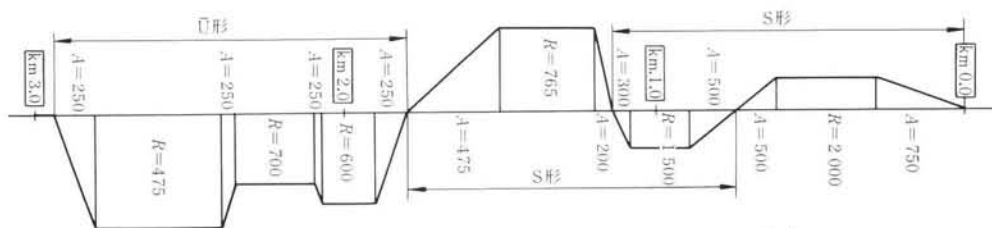
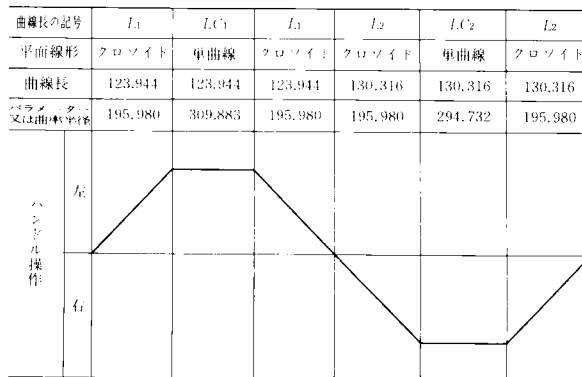


図4.12 ドイツのアウトバーンにおけるハンドル操作図の事例



図 4.13  $(S) = (C - K)_1 + (C - K)_2$  のハンドル操作図

および図 4.13 (表 3.30 と図 3.8 に示した最も望ましい S 形のハンドル操作図) と比較する場合、円固定法による曲線長の制御は極めて困難であることが理解できる。

b) B の A に対する短所

B は、固定されたいくつかの円に対して、S 形または卵形を求めることができない。A はできる。

## 4.5 結 語

本章では、この種の研究における現在の課題、すなわち、曲線長の制御は、円固定法では極めて困難であること、そして、I. P 法では比較的容易であることを示した。

自動車が続して 2 回同方向に任意の角度  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  だけ方向転換をするときの走行軌跡に対応する望ましい道路路線の形状は、 $\bar{U}$  形を構成する 7 つの曲線要素の曲線長をおおよそ一定とする  $\bar{U}$  形であることを提案するとともに、その解法を示し、従来の方法と比較した。従来の方法で  $\bar{U}$  形を求めるためには、Osterloh の 4 つの試算 (計算の回数は、おおよそ 20 回) をしなければならない。しかも 7 つの曲線長の比率を制御することは、極めて困難である。これに対して、本論文に提案した解法によると、7 つの曲線長をおおよそ一定に制御し、しかも 1 回の計算で、自動車の走行上望ましい  $\bar{U}$  形が得られる。

本論文に提案した  $\bar{U}$  形は、 $\theta_1 = \theta_2$  近傍に対応する  $\bar{U}$  形  $(\bar{U}) = (C = )_1 + (C = K)_2 - 2(\bar{K})_3 + (C)_3$  である。S 形の場合と同様に、 $2\theta_1 = \theta_2$  近傍に対応する  $\bar{U}$  形  $(\bar{U}) = (K - \bar{K})_1 + (C = K)_2 - 2(K)_3 + (C)_3$  の解法を示し、そして、2 つの  $\bar{U}$  形の選定条件をきめることが、今後に残された研究課題である。

## 参 考 文 献

- 1) 星 埜, クロソイドポケットブック改訂版, 日本道路協会, 1977
- 2) Lorenz, Trassierung und Gestaltung von Straßen und Autobahnen, Bauverlag, 1971, P. 412.
- 3) 岡崎, 道路中心線の設計法, 山海堂, 1979

## 第5章 道路トラバースに対する道路路線の形状的な選定に関する研究

本章は、第2章～第4章の応用である。第3章、第4章では、自動車が連続して異方向、または、同方向に任意の角度 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ だけ方向転換をするときの走行軌跡に対応する道路路線の形状的な選定法について述べた。本章は、これら2つの選定法と本章で新しく提案する2つの選定法（第2章の応用）を用いて、写真1.1に示した方法によって得られる道路トラバースに対して、道路路線の形状的な選定をする一般的な方法について述べたものである。

### 5.1 概 説

一般に、 $n$ 個の測線から成立する道路トラバースに対して、道路路線の形状的な選定をする方法は、次のようである。

- イ) S形に配置された3つの測線に対してS形（第3章参照）を選定する。
- ロ) C形に配置された3つの測線に対して $\bar{U}$ 形（第4章参照）を選定する。
- ハ) イ)、ロ)の方法によってS形、または、 $\bar{U}$ 形を選定する場合、S形とS形、または、 $\bar{U}$ 形とS形との間には1つの測点を残す。
- ニ) 残された1つの測点に対応する平面線形には、3つの計算条件（道路交角 $\theta$ と2つの接線長 $D_1$ 、 $D_2$ ）が与えられる。残された1つの測点に対応する平面線形を、与えられた3つの計算条件を用いて、次の2つの方法から求める。
  - イ) 3つの計算条件（道路交角 $\theta$ と2つの接線長 $D_1$ 、 $D_2$ ）と式 $LC - L_1 = L_2 - LC$ を満足する（ $C = K$ ）を選定する。（ $C = K$ ）の自由度は4である。したがって、これら4つの計算条件から（ $C = K$ ）を求めることができる。また、式 $LC = (L_1 + L_2)/2$ は、（ $C = K$ ）を構成する3つの曲線長 $L_1$ 、 $LC$ 、 $L_2$ が等差級数となることを示しており、第2章に述べた選定条件を満足する。
  - ロ) 3つの計算条件 $\theta$ 、 $D_1$ 、 $A$ から（ $C - K$ ）を選定する。ここに、 $\theta$ は残された1つの測点における道路交角、 $D_1$ は短い接線長、 $A$ は短い接線長 $D_1$ （以下 $D$ で示す）側のS形、または、 $\bar{U}$ 形のパラメーターである。（ $C - K$ ）の自由度は3である。したがって、これら3つの計算条件から（ $C - K$ ）を求めることができる。

以上に示した2つの選定法による解法について述べよう。

### 5.2 （ $C = K$ ）の解法

道路交角 $\theta$ 、2つの接線長 $\bar{D}_1$ 、 $\bar{D}_2$ と式 $LC - L_1 = L_2 - LC$ を与えて（ $C = K$ ）を求める解法について述べよう。

## 5.2.1 計 算 法

計算法は、次のようである。

- イ)  $\theta$  を用いて、K表から係数 $K$ を求める。
- ロ) 式  $\Delta l = K(\bar{D}_2 - \bar{D}_1) / \bar{D}_1$  から  $\Delta l$  を求める。ここに、 $\Delta l = l_2 - l_1$  である。
- ハ) 式  $l_1 = \{(\theta/2) - 2x\}^{1/2}$ ,  $l_2 = \{(\theta/2) + 2x\}^{1/2}$  から  $l_1, l_2$  を求める。ここに、 $2x = \{\theta_2 - (\theta - \Delta l^2)^2\}^{1/2} / 2$  である。
- ニ)  $\theta, l_1, l_2$  から ( $UR, C=K$ ) を求める。
- ホ) 式  $R = \bar{D}_1 / \bar{d}_1$ , または、式  $R = \bar{D}_2 / \bar{d}_2$  から  $R$  を求める。
- ヘ) 式 ( $C=K$ ) =  $R(U, C=K)$  から ( $C=K$ ) を求める。

一般に、 $R$ は、ホ)に示した2つの式から得られる2つの $R$ のうち、小さい $R$ を用いるとよい。計算法は試算法である。これについて述べよう。

イ) 第1回試算から得られる $\Delta l$ を $\Delta l_1$ 、第2回試算から得られる $\Delta l$ を $\Delta l_2$ とすると、式  $\Delta l_1 = K(\bar{D}_2 - \bar{D}_1) / \bar{D}_1$  における係数 $K$ は、 $\theta$ を用いてK表から求める。そして、式  $\Delta l_2 = K(\bar{D}_2 - \bar{D}_1) / \bar{D}_1$  における係数 $K$ は、第1回試算から得られる値を用いて、式  $K = \Delta l_1 / \{(\bar{d}_2 - \bar{d}_1) / \bar{d}_1\}$  から求める。

ロ) 一般に、第1回試算または第2回試算で得られる( $C=K$ )を道路の平面線形としてよい。

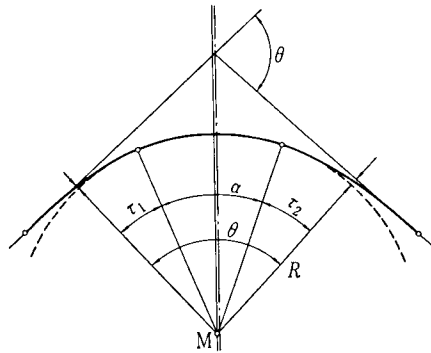


図 5.1 ( $C=K$ )

この計算法に用いるK表(表5.1参照)について述べよう。

イ) 式  $K = \Delta l / \{(\bar{d}_2 - \bar{d}_1) / \bar{d}_1\}$  における  $\Delta l$ ,  $(\bar{d}_2 - \bar{d}_1) / \bar{d}_1$  および  $K$  は3つの変数  $\theta, k_1, k_2$  の関数である。そして、 $k_1, k_2$  を一定とすると  $\theta$  の関数となる。

ロ)  $k_1 = 5/22$ ,  $k_2 = 6/22$  では、曲線長の比  $l^2 : lC : l_2^2 = L_1 : LC : L_2 = 1 : 1.1 : 1.2$  である(表2.45参照)。そして、 $\Delta l = (6\theta/11)^{1/2} - (5\theta/11)^{1/2}$  である。

ハ) K表は、 $k_1 = 5/22$ ,  $k_2 = 6/22$  における  $(\bar{d}_2 - \bar{d}_1) / \bar{d}_1$  および  $K$  を  $\theta$  の関数として表示している。これらの値の誤差は、 $\tau_1/\theta$ ,  $\tau_2/\theta$  平面上の点  $k_1 = 5/22$ ,  $k_2 = 6/22$  から遠くなると大きくなる。

表 5.1 K 表

(3°00' ~ 27°00')

$\theta$ , $(\bar{d}_2 - \bar{d}_1)/\bar{d}_1$	K	$\theta$ , $(\bar{d}_2 - \bar{d}_1)/\bar{d}_1$	K	$\theta$ , $(\bar{d}_2 - \bar{d}_1)/\bar{d}_1$	K	$\theta$ , $(\bar{d}_2 - \bar{d}_1)/\bar{d}_1$	K
3 00 0.05181 0.284		9 00 0.05175 0.493		15 00 0.05162 0.638		21 00 0.05144 0.757	
05 0.05181 0.288		05 0.05174 0.495		05 0.05162 0.640		05 0.05144 0.759	
10 0.05181 0.292		10 0.05174 0.497		10 0.05162 0.641		10 0.05144 0.760	
15 0.05180 0.296		15 0.05174 0.500		15 0.05162 0.643		15 0.05143 0.762	
20 0.05180 0.300		20 0.05174 0.502		20 0.05162 0.645		20 0.05143 0.763	
25 0.05180 0.303		25 0.05174 0.504		25 0.05161 0.647		25 0.05143 0.765	
30 0.05180 0.307		30 0.05174 0.506		30 0.05161 0.648		30 0.05142 0.767	
35 0.05180 0.311		35 0.05174 0.509		35 0.05161 0.650		35 0.05142 0.768	
40 0.05180 0.314		40 0.05173 0.511		40 0.05161 0.652		40 0.05142 0.770	
45 0.05180 0.318		45 0.05173 0.513		45 0.05160 0.654		45 0.05141 0.771	
50 0.05180 0.321		50 0.05173 0.515		50 0.05160 0.656		50 0.05141 0.773	
55 0.05180 0.325		55 0.05173 0.518		55 0.05160 0.657		55 0.05141 0.774	
4 00 0.05180 0.328		10 00 0.05173 0.520		16 00 0.05160 0.659		22 00 0.05140 0.776	
05 0.05180 0.332		05 0.05173 0.522		05 0.05160 0.661		05 0.05140 0.777	
10 0.05180 0.335		10 0.05173 0.524		10 0.05159 0.663		10 0.05140 0.779	
15 0.05180 0.338		15 0.05173 0.526		15 0.05159 0.664		15 0.05140 0.780	
20 0.05180 0.342		20 0.05172 0.528		20 0.05159 0.666		20 0.05139 0.782	
25 0.05180 0.345		25 0.05172 0.530		25 0.05159 0.668		25 0.05139 0.783	
30 0.05180 0.348		30 0.05172 0.533		30 0.05158 0.669		30 0.05139 0.785	
35 0.05180 0.351		35 0.05172 0.535		35 0.05158 0.671		35 0.05138 0.786	
40 0.05180 0.355		40 0.05172 0.537		40 0.05158 0.673		40 0.05138 0.788	
45 0.05179 0.358		45 0.05172 0.539		45 0.05158 0.675		45 0.05138 0.789	
50 0.05179 0.361		50 0.05171 0.541		50 0.05157 0.676		50 0.05137 0.791	
55 0.05179 0.364		55 0.05171 0.543		55 0.05157 0.678		55 0.05137 0.792	
5 00 0.05179 0.367		11 00 0.05171 0.545		17 00 0.05157 0.680		23 00 0.05137 0.794	
05 0.05179 0.370		05 0.05171 0.547		05 0.05157 0.681		05 0.05136 0.795	
10 0.05179 0.373		10 0.05171 0.549		10 0.05157 0.683		10 0.05136 0.797	
15 0.05179 0.376		15 0.05171 0.551		15 0.05156 0.685		15 0.05136 0.798	
20 0.05179 0.379		20 0.05171 0.554		20 0.05156 0.686		20 0.05135 0.800	
25 0.05179 0.382		25 0.05170 0.556		25 0.05156 0.688		25 0.05135 0.801	
30 0.05179 0.385		30 0.05170 0.558		30 0.05156 0.690		30 0.05135 0.803	
35 0.05179 0.388		35 0.05170 0.560		35 0.05155 0.691		35 0.05134 0.804	
40 0.05179 0.391		40 0.05170 0.562		40 0.05155 0.693		40 0.05134 0.806	
45 0.05179 0.394		45 0.05170 0.564		45 0.05155 0.695		45 0.05134 0.807	
50 0.05178 0.396		50 0.05170 0.566		50 0.05155 0.696		50 0.05133 0.808	
55 0.05178 0.399		55 0.05169 0.568		55 0.05154 0.698		55 0.05133 0.810	
6 00 0.05178 0.402		12 00 0.05169 0.570		18 00 0.05154 0.700		24 00 0.05133 0.811	
05 0.05178 0.405		05 0.05169 0.572		05 0.05154 0.701		05 0.05132 0.813	
10 0.05178 0.408		10 0.05169 0.574		10 0.05154 0.703		10 0.05132 0.814	
15 0.05178 0.410		15 0.05169 0.576		15 0.05153 0.705		15 0.05132 0.816	
20 0.05178 0.413		20 0.05169 0.578		20 0.05153 0.706		20 0.05131 0.817	
25 0.05178 0.416		25 0.05168 0.580		25 0.05153 0.708		25 0.05131 0.819	
30 0.05178 0.419		30 0.05168 0.582		30 0.05152 0.710		30 0.05131 0.820	
35 0.05178 0.421		35 0.05168 0.584		35 0.05152 0.711		35 0.05130 0.822	
40 0.05178 0.424		40 0.05168 0.585		40 0.05152 0.713		40 0.05130 0.823	
45 0.05178 0.427		45 0.05168 0.587		45 0.05152 0.715		45 0.05129 0.825	
50 0.05177 0.429		50 0.05167 0.589		50 0.05151 0.716		50 0.05129 0.826	
55 0.05177 0.432		55 0.05167 0.591		55 0.05151 0.718		55 0.05129 0.827	
7 00 0.05177 0.434		13 00 0.05167 0.593		19 00 0.05151 0.719		25 00 0.05128 0.829	
05 0.05177 0.437		05 0.05167 0.595		05 0.05151 0.721		05 0.05128 0.830	
10 0.05177 0.440		10 0.05167 0.597		10 0.05150 0.723		10 0.05128 0.832	
15 0.05177 0.442		15 0.05167 0.599		15 0.05150 0.724		15 0.05127 0.833	
20 0.05177 0.445		20 0.05166 0.601		20 0.05150 0.726		20 0.05127 0.835	
25 0.05177 0.447		25 0.05166 0.603		25 0.05150 0.727		25 0.05127 0.836	
30 0.05177 0.450		30 0.05166 0.605		30 0.05149 0.729		30 0.05126 0.837	
35 0.05177 0.452		35 0.05166 0.607		35 0.05149 0.731		35 0.05126 0.839	
40 0.05176 0.455		40 0.05166 0.608		40 0.05149 0.732		40 0.05126 0.840	
45 0.05176 0.457		45 0.05165 0.610		45 0.05148 0.734		45 0.05125 0.842	
50 0.05176 0.460		50 0.05165 0.612		50 0.05148 0.735		50 0.05125 0.843	
55 0.05176 0.462		55 0.05165 0.614		55 0.05148 0.737		55 0.05124 0.845	
8 00 0.05176 0.465		14 00 0.05165 0.616		20 00 0.05148 0.739		26 00 0.05124 0.846	
05 0.05176 0.467		05 0.05165 0.618		05 0.05147 0.740		05 0.05124 0.847	
10 0.05176 0.469		10 0.05164 0.620		10 0.05147 0.742		10 0.05123 0.849	
15 0.05176 0.472		15 0.05164 0.621		15 0.05147 0.743		15 0.05123 0.850	
20 0.05176 0.474		20 0.05164 0.623		20 0.05146 0.745		20 0.05123 0.852	
25 0.05175 0.477		25 0.05164 0.625		25 0.05146 0.746		25 0.05122 0.853	
30 0.05175 0.479		30 0.05164 0.627		30 0.05146 0.748		30 0.05122 0.854	
35 0.05175 0.481		35 0.05163 0.629		35 0.05146 0.750		35 0.05121 0.856	
40 0.05175 0.484		40 0.05163 0.631		40 0.05145 0.751		40 0.05121 0.857	
45 0.05175 0.486		45 0.05163 0.632		45 0.05145 0.753		45 0.05121 0.859	
50 0.05175 0.488		50 0.05163 0.634		50 0.05145 0.754		50 0.05120 0.860	
55 0.05175 0.491		55 0.05163 0.636		55 0.05144 0.756		55 0.05120 0.861	
9 00 0.05175 0.493		15 00 0.05162 0.638		21 00 0.05144 0.757		27 00 0.05120 0.863	

## 5.2.2 計算例

$\theta = 85^\circ 19' 36''$ ,  $\bar{D}_1 = 111.764$ ,  $\bar{D}_2 = 115.692$  と式  $LC - L_1 = L_2 - LC$  を与えて ( $C = K$ ) を求めよう.

〔第1回試算〕

イ)  $\theta = 85^\circ 20'$  を用いて  $K$  表から  $K$  の値を捨てると  $K = 1.747$  である.

ロ)  $\Delta l_1 = K (\bar{D}_2 - \bar{D}_1) / \bar{D}_1 = 1.747 (115.692 - 111.764) / 111.764 = 0.061399$  である.

ハ)  $2x = \{\theta^2 - (\theta - \Delta l^2)^2\}^{1/2} / 2 = \{1.489231^2 - (1.489231 - 0.061399)^2\}^{1/2} / 2 = 0.052951$  であるから,  $l_1 = \{(\theta/2) - 2x\}^{1/2} = \{(1.489231/2) - 0.052951\}^{1/2} = 0.831664 \approx 0.832$ ,  $l_2 = \{(\theta/2) - 2x\}^{1/2} = \{(1.489231/2) + 0.052951\}^{1/2} = 0.893066 \approx 0.893$  となる.

ニ)  $\theta = 85^\circ 19' 36''$ ,  $l_1 = 0.832000$ ,  $l_2 = 0.893000$  から ( $UR$ ,  $C = K$ ) を求めると, 表 5.2 のようである.

ホ)  $R = \bar{D}_1 / \bar{d}_1 = 111.764 / 1.291133 = 86.562732$  である.

ヘ) 式 ( $C = K$ ) =  $R$  ( $UR$ ,  $C = K$ ) から ( $C = K$ ) を求めると, 表 5.2 のようである.

表 5.2 第1回試算による ( $C = K$ ) の計算表

諸要素	単位平面線形				平面線形			
	$(UR, C-K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(UR, C=K)$		$(C-K)_1$	$(C-K)_2$	$(C=K)$	
道路交角	$\theta=85^{\circ}19'36'' (=1.489231)$							
接線角, 回転角	$\tau_1=19^{\circ}49'51''$		$\tau_2=22^{\circ}50'43''$		$\delta=16'24''$			
外線長	$g_1=0.386935$	$g_2=0.395729$	$\Delta g=0.008794$	$g=0.391343$	$G_1=33.494$	$G_2=34.255$	$\Delta G=0.761$	$G=33.876$
パラメーター, 外線長	$l_1=0.832000$	$l_2=0.893000$	$(g_1+g_2)/2=0.391332$		$A_1=72.020$	$A_2=77.301$	$(G_1+G_2)/2=33.875$	
半径, 接線長	$\bar{r}=1.000000$		$\Delta d=0.006488$		$R=86.563$		$\Delta D=0.562$	
接線長	$d_1=1.284645$	$d_2=1.342491$	$\bar{d}_1=1.291133$	$\bar{d}_2=1.336003$	$D_1=111.202$	$D_2=116.210$	$\bar{D}_1=111.764$	$\bar{D}_2=115.648$
クロソイド長	$l_1^2=0.692224$	$l_2^2=0.797449$	$l_1^2+l_2^2=1.489673$		$L_1=59.921$	$L_2=69.029$	$L_1+L_2=128.950$	
単曲線長	$lC_1=0.797007$	$lC_2=0.691782$	$lC=0.744395$		$LC_1=68.991$	$LC_2=59.883$	$LC=64.437$	
曲線長	$Cl_1=2.181455$	$Cl_2=2.286680$	$Cl=2.234068$		$CL_1=188.833$	$CL_2=197.941$	$CL=193.387$	
移程量	$\Delta_1=0.019880$	$\Delta_2=0.026347$			$\Delta R_1=1.721$	$\Delta R_2=2.281$		
接線角/道路交角	$\tau_1/\theta=0.232410$		$\tau_2/\theta=0.267738$		$\tau_1/\theta+\tau_2/\theta=0.500148$			
曲線長の比	$l_1^2:lC:l_2^2=L_1:LC:L_2=1:1.075366:1.152000$							

注1) 第1回試算では,  $l_1$ ,  $l_2$  を 0.001 単位で丸められた値としている.

2)  $R = \bar{D}_1 / \bar{d}_1 = 86.562732$  である.

第1回試算の結果によると,  $LC-L_1=64.437-59.921=4.516$ ,  $L_2-LC=69.029-64.437=4.592$ であるから, おおよそ式  $LC-L_1=L_2-LC$  が成立している.

〔第2回試算〕

イ)  $K=\Delta l_1/\{(\bar{d}_2-\bar{d}_1)/\bar{d}_1\}=0.061/\{(1.336003-1.291133)/1.291133\}=1.755295$ である.

ロ)  $\Delta l_2=K(\bar{D}_2-\bar{D}_1)/\bar{D}_1=1.755295(115.692-111.764)/111.764=0.061691$ である.

ハ)  $2x=\{\theta^2-(\theta-\Delta l_2^2)^2\}^{1/2}/2=1.489231^2-(1.489231^2-0.061691^2)^{1/2}/2=0.053203$ であるから,  $l_1=\{(\theta/2)-2x\}^{1/2}=\{(1.489231/2)-0.053203\}^{1/2}=0.831512$ , そして,  $l_2=\{(\theta/2)+2x\}^{1/2}=\{(1.489231/2)+0.053203\}^{1/2}=0.893207$ となる.

ニ)  $\theta=85^\circ 19' 36''$ ,  $l_1=0.831512$ ,  $l_2=0.893207$ から (UR, C=K) を求めると, 表5.3のようである.

ホ)  $R=\bar{D}_2/\bar{d}_2=115.692/1.336136=86.586994$ である.

ヘ) 式 (C=K)=R (UR, C=K) から (C=K) を求めると, 表5.3のようである.

第2回試算の結果によると,  $LC-L_1=64.474-59.867=4.607$ ,  $L_2-LC=69.081-64.474=4.607$ であるから, 式  $LC-L_1=L_2-LC$  が成立している.

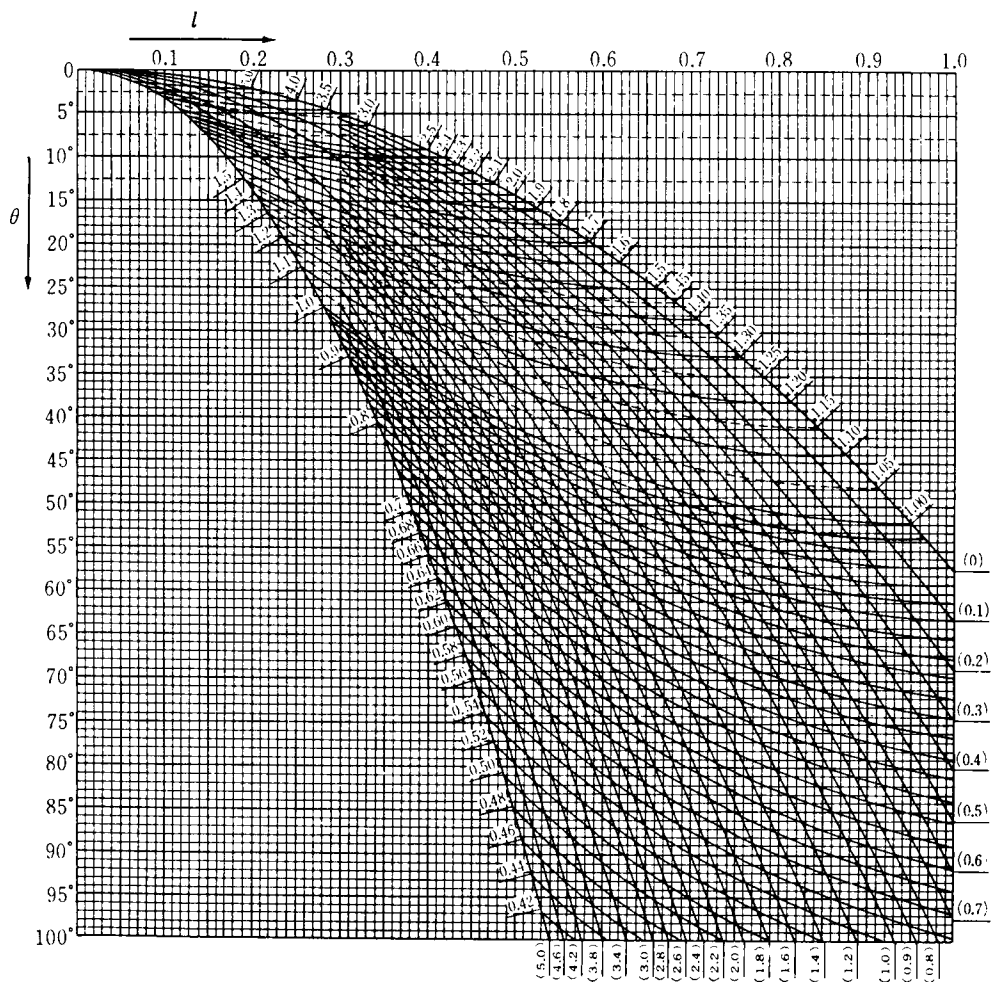
表 5.3 第2回試算による (C=K) の計算表

諸要素	記号	単 位 平 面 線 形			平 面 線 形				
		$(UR, C-K)_1$	$(UR, C-K)_2$	$(UR, C=K)$	$(C-K)_1$	$(C-K)_2$	$(C=K)$		
道 路 交 角		$\theta=85^{\circ}19'36'' (=1.489231)$							
接線角, 回転角		$\tau_1=19^{\circ}48'27''$		$\tau_2=22^{\circ}51'21''$	$\delta=16'35''$				
外 線 長		$g_1=0.386372$	$g_2=0.395762$	$\Delta g=0.008890$	$g=0.391329$	$G_1=33.498$	$G_2=34.268$	$\Delta G=0.770$	$G=33.884$
パラメーター, 外線長		$l_1=0.831512$	$l_2=0.893207$	$(g_1+g_2)/2=0.391317$		$A_1=71.998$	$A_2=77.340$	$(G_1+G_2)/2=33.883$	
半 径, 接 線 長		$\bar{r}=1.000000$		$\Delta d=0.006559$		$R=86.587$		$\Delta D=0.568$	
接 線 長		$d_1=1.284202$	$d_2=1.342695$	$\bar{d}_1=1.290761$	$\bar{d}_2=1.336136$	$D_1=111.195$	$D_2=116.260$	$\bar{D}_1=111.763$	$\bar{D}_2=115.692$
クロソイド長		$l_1^2=0.691412$	$l_2^2=0.797819$	$l_1^2+l_2^2=1.489231$		$L_1=59.867$	$L_2=69.081$	$L_1+L_2=128.948$	
単 曲 線 長		$lC_1=0.797819$	$lC_2=0.691412$	$lC=0.744616$		$LC_1=69.081$	$LC_2=59.867$	$LC=64.474$	
曲 線 長		$Cl_1=2.180643$	$Cl_2=2.287050$	$Cl=2.233847$		$CL_1=188.815$	$CL_2=198.029$	$CL=193.422$	
移 程 量		$\Delta_1=0.019834$	$\Delta_2=0.026371$			$\Delta R_1=1.717$	$\Delta R_2=2.283$		
接線角/道路交角		$\tau_1/\theta=0.232137$		$\tau_2/\theta=0.267863$		$\tau_1/\theta+\tau_2/\theta=0.500000$			
曲 線 長 の 比		$l_1^2: lC: l_2^2=L_1: LC: L_2=1: 1.076954: 1.153908$							

注1) 第2回試算では, 式  $\tau_1=(\theta/4)-\gamma$ ,  $\tau_2=(\theta/4)+\gamma$  が成立している. これらの式が成立する (C=K) の外線長 ( $G_1+G_2)/2$  と接線角を  $\tau=\theta/4$ , 接線長を  $(\bar{D}_1+\bar{D}_2)/2$  とする (C-K) の外線長Gにおいて, 式  $(G_1+G_2)/2=G$  が成立する. この式は (C=K) の外線長  $(G_1+G_2)/2$  を求める近似式として用いるとよい. なおこの計算例では  $G=33.870$  である.

2)  $R=\bar{D}_2/\bar{d}_2=86.586994$  である.

3) 図 5.1 を参照されたい.

図 5.2  $(UD, C-K)$  のパラメーター

## 5.3 (C-K) の解法

道路交角  $\theta$ ，接線長  $D$ ，クロソイドのパラメーター  $A$  を与えて  $(C-K)$  を求める解法について述べよう。

### 5.3.1 計 算 法

計算法は，次のようである。

- イ)  $\theta$ ， $A/D$  を用いて，図 5.2 から  $l$  を求める。
- ロ)  $\theta$ ， $l$  を用いて， $(UR, C-K)$  を求める。
- ハ) 式  $R=D/d$  を用いて， $R$  を求める。
- ニ) 式  $(C-K)=R(UR, C-K)$  から  $(C-K)$  を求める。

図 5.2 について述べよう。

- イ)  $\theta l$  平面：計算図は道路交角  $\theta$  を縦軸，単位クロソイド  $(UA, \bar{K})$  の変数  $l$  を横軸とした  $\theta l$  平面に所定の変数を示す。
- ロ)  $LC/L$ ： $\theta l$  平面上の原点から放物線状に示した線は， $LC/L=N$  を示す。 $N=0$  の線に対応する円-クロソイドは  $(K)$  である。また， $N=1$  の線に対応する円-クロソイドは， $LC=L$  とする  $(C-K)$  である。
- ハ)  $A/D$ ： $\theta l$  平面上に右下がりに示した線は， $\theta l$  平面上の点に対応する円-クロソイドの  $A/D$  の値，すなわち， $(UD, C-K)$  のパラメーターを示す。

また，図 5.3 の計算図は， $(UD, C-K)$  の曲率半径を示したものであり，図 5.2 のパラメーターに代えて曲率半径を示している。図 5.2 と同様の方法で用いることができる。

### 5.3.2 計 算 例

$\theta=46^{\circ}00'20''$ ， $A=72.290$ ， $D=70.891$  を与えて  $(C-K)$  を求めよう。この計算例は，図 5.4 に示した 4 つの測線のうちの 3 つの測線， $\theta_1$ ， $\overline{I.P_1}$ ， $\overline{I.P_2}$ ， $\theta_2$  に対して求めた S 形（表 5.5 参照）によって残された測線長  $D=70.891$ ，S 形のパラメーター 72.290， $I.P_0$  の道路交角  $\theta=46^{\circ}00'20''$  を計算条件として  $(C-K)_0$  を求めたものである。

〔解〕

- イ)  $\theta=46^{\circ}00'00''$ ， $A/D=72.290/70.891=1.019735$  である。したがって，図 5.2 から  $l=0.650000$  が得られる。
- ロ)  $\theta=46^{\circ}00'20''$ ， $l=0.650000$  を用いて， $(UR, C-K)$  を求めると，表 5.4 のようである。
- ハ) 式  $R=D/d=70.891/0.638621=111.006372$  である。
- ニ) 式  $(C-K)=R(UR, C-K)$  から  $(C-K)$  を求めると，表 5.4 のようである。



表 5.4 (UR, C-K), (C-K)の計算表

諸要素	線形	(UR, C-K)	(C-K)
道路交角		$\theta = 46^\circ 00' 20'' (= 0.802949)$	
接線角		$\tau = 12^\circ 06' 13''$	
外線長		$g = 0.094450$	$G = 10.485$
パラメーター		$l = 0.650000$	$A = 72.154$
曲率半径		$\bar{r} = 1.000000$	$R = 111.006$
接線長		$d = 0.638621$	$D = 70.891$
クロソイド長		$l^2 = 0.422500$	$L = 46.900$
単曲線長		$lC = 0.380449$	$LC = 42.232$
曲線長		$Cl = 1.225449$	$CL = 136.033$
移程量		$\Delta = 0.007426$	$\Delta R = 0.824$
接線角/道路交角		$\tau/\theta = 0.263093$	
単曲線長/クロソイド長		$lC/l^2 = 0.900471$	

注)  $R = D/d = 70.891/0.638621 = 111.006372$  である.

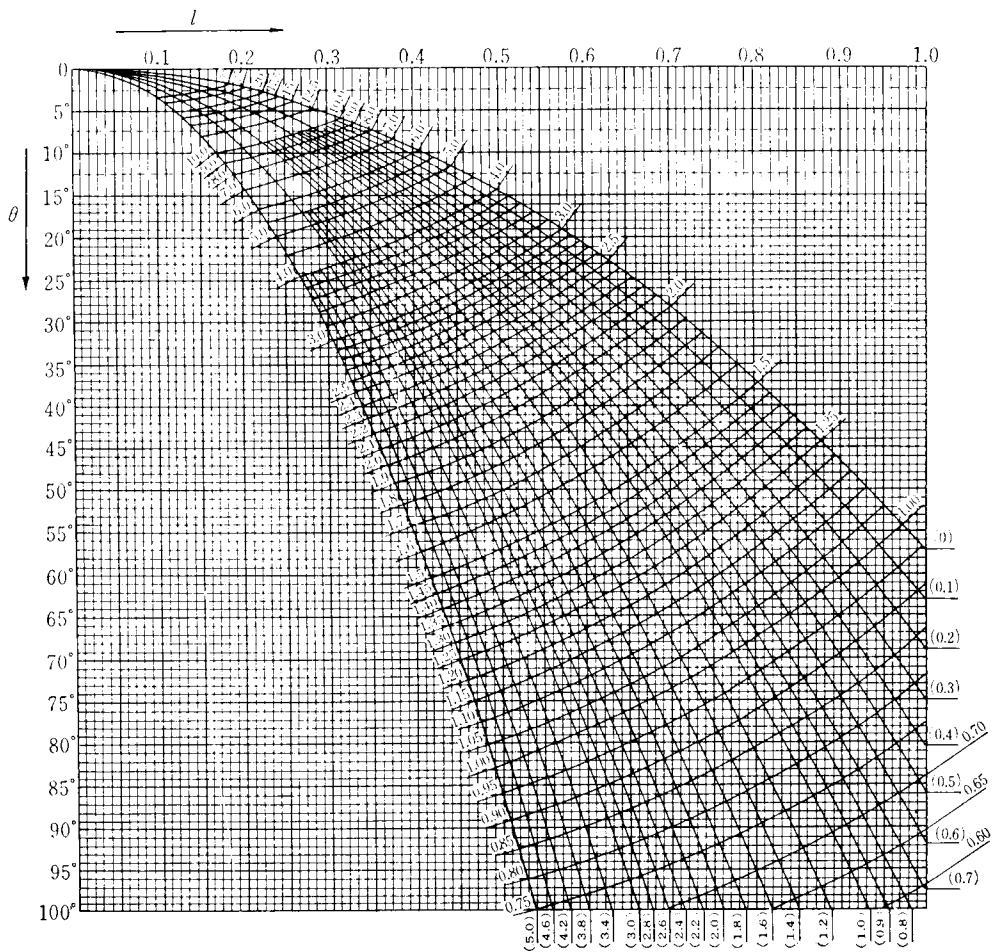
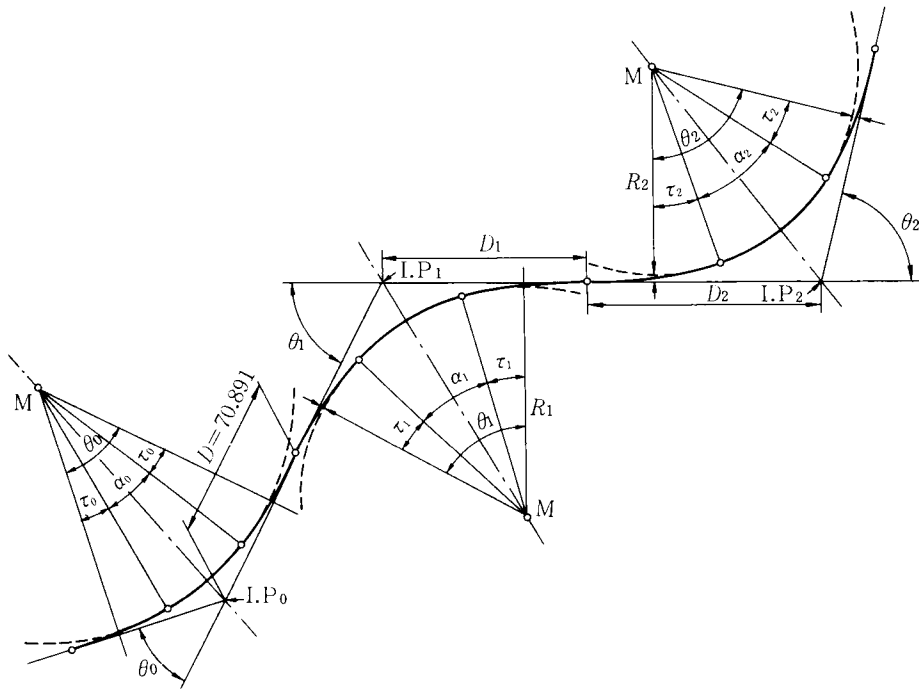


図 5.3 (UD, C-K)の曲率半径

図 5.4 ( $C-K$ )<sub>0</sub> + ( $S$ )表 5.5 ( $S$ ) = ( $C-K$ )<sub>1</sub> + ( $C-K$ )<sub>2</sub> の計算表

線形 諸要素	(UR, $C-K$ ) <sub>1</sub>	( $C-K$ ) <sub>1</sub>	(UR, $C-K$ ) <sub>2</sub>	( $C-K$ ) <sub>2</sub>
道 路 交 角	$\theta=61^{\circ}28'00'' (=1.072796)$		$\theta=76^{\circ}36'00'' (=1.336922)$	
接 線 角	$\tau=15^{\circ}22'00''$		$\tau=19^{\circ}09'00''$	
外 線 長	$g=0.177304$	$G=17.501$	$g=0.297878$	$G=26.338$
パ ラ メ ー タ ー	$l=0.732392$	$A=72.290$	$l=0.817595$	$A=72.290$
曲 率 半 径	$\bar{r}=1.000000$	$R=98.704$	$\bar{r}=1.000000$	$R=88.418$
接 線 長	$d=0.869211$	$D=85.795$	$d=1.137388$	$D=100.565$
ク ロ ソ イ ド 長	$l^2=0.536398$	$L=52.945$	$l^2=0.668461$	$L=59.104$
単 曲 線 長	$lC=0.536398$	$LC=52.945$	$lC=0.668461$	$LC=59.104$
曲 線 長	$Cl=1.609194$	$CL=158.834$	$Cl=2.005383$	$CL=177.312$
移 程 量	$\Delta=0.011958$	$\Delta R=1.180$	$\Delta=0.018544$	$\Delta R=1.640$
接 線 角/道 路 交 角	$\tau/\theta=0.250000$		$\tau/\theta=0.250000$	
単 曲 線 長/ク ロ ソ イ ド 長	$lC/l^2=1.000000$		$lC/l^2=1.000000$	
パ ラ メ ー タ ー/接 線 長	$k_1=0.842594$		$k_2=0.718836$	

注) 数表 1 を参照されたい。

計算の結果得られたパラメーター  $A$  ( $=72.154$ ) と計算条件の  $A$  ( $=72.290$ ) は一致していない。しかし、この程度の差は実用上一致していると考えてよい。また、図 5.2 から得られる  $LC/L=0.9$  と計算の結果得られた  $LC/L=0.900471$  についても同様である。図 5.5 は、図 5.4 に添って自動車が行走するときのハンドル操作図である。

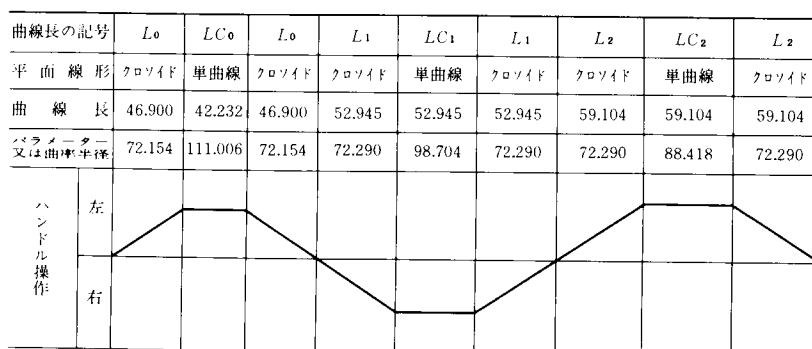


図 5.5  $(C-K)_0 + (S)$  のハンドル操作図

## 5.4 解法の名称

5.2 に示した  $(C=K)$  の解法は、内挿法、また、5.3 に示した  $(C-K)$  の解法は、片押し法と呼ぶ。

## 5.5 道路路線の形状的な選定例

I.P 法による道路路線の形状的な選定の手順は、次のようである。

- イ) 縮尺  $1/500 \sim 1/1000$  の平面図におけるペーパーロケーション (写真 1.1 参照)。
- ロ) ペーパーロケーションによるトラバースを現地に設置し、そして、トラバースを測量する。

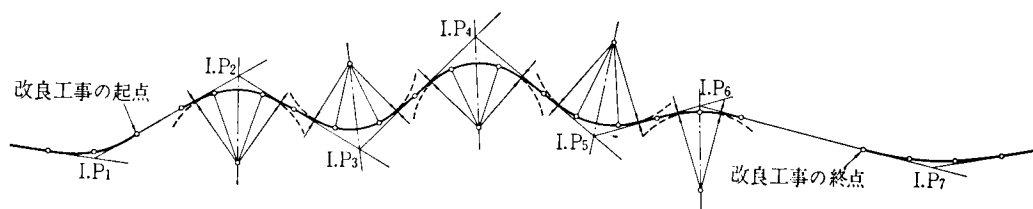


図 5.6 ペーパーロケーション

ハ) 測量されたトラバース、および測量されたトラバースに対応する道路路線の形状を平面図に示す。


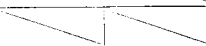

表 5.6 ペーパーロケーションによるトラバース

I.P	1	2	3	4	5	6	7	計
道路交角	$-38^{\circ}46'20''$	$+61^{\circ}30'$	$-76^{\circ}30'$	$+85^{\circ}15'$	$-56^{\circ}30'$	$+30^{\circ}45'$	$-24^{\circ}36'20''$	
測線長	216.4	186.5	212.3	203.0	145.3	316.5	1280.0	
接線長	63.141	85.9	85.9	100.6	100.6	111.7	115.7	87.3
直線区間長	67.359	0	0	0	0	164.237	231.596	
曲線長		159.1	177.4	193.4	163.8	113.9	807.6	
平面線形	$(S)=(C-K)+(C-K)$			$(C=K)$	$(S)=(C-K)+(K)$			

注1) 直線区間長は、式直線区間長=測線長-接線長から得られる。

2) 改良工事の起点から終点にいたる道路中心線の長さは、1039.196m である。

表 5.7 ペーパーロケーションによる平面線形

I, P	2	3	4			5	6
平 面 線 形	(C-K)	(C-K)	(C-K) <sub>1</sub>	(C-K) <sub>2</sub>	(C=K)	(C-K)	(K)
道 路 交 角 (θ)	θ=61°30'00'' (θ=1.073377)	θ=76°30'00'' (θ=1.335177)	θ=85°15'00'' (θ=1.487893)			θ=56°30'00'' (θ=0.986111)	θ=30°45'00'' (θ=0.536689)
接 線 角 (l), 回 転 角	τ=15°22'30'' (l=0.732591)	τ=19°07'30'' (l=0.817061)	τ <sub>1</sub> =19°46'59'' (l <sub>1</sub> =0.831000)	τ <sub>2</sub> =22°50'43'' (l <sub>2</sub> =0.893000)		τ=14°07'30'' (l=0.702179)	τ=15°22'30'' (l=0.732591)
外 線 長	G=17.5	G=26.3	G <sub>1</sub> =33.4	G <sub>2</sub> =34.2		G=16.2	G=5.3
パラメーター, 外線長	A=72.4	A=72.4	A <sub>1</sub> =72.0	A <sub>2</sub> =77.4	(G <sub>1</sub> +G <sub>2</sub> )/2=33.8	A=77.8	A=77.8
半 径, 接 線 長	R=98.8	R=88.6	R=86.7		ΔD=0.6	R=110.7	R=106.1
接 線 長	D=85.9	D=100.6	D <sub>1</sub> =111.1	D <sub>2</sub> =116.2	$\overline{D}_1=111.7$ $\overline{D}_2=115.7$	D=87.3	D=58.0
ク ロ ソ イ ド 長	L=53.0	L=59.1	L <sub>1</sub> =59.8	L <sub>2</sub> =69.1	L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub> =128.9	L=54.6	L=57.0
単 曲 線 長	LC=53.0	LC=59.1	LC <sub>1</sub> =69.1	LC <sub>2</sub> =59.8	LC=64.5	LC=54.6	LC=0
曲 線 長	CL=159.1	CL=177.4	CL <sub>1</sub> =188.8	CL <sub>2</sub> =198.0	CL=193.4	CL=163.8	CL=113.9
移 程 量	ΔR=1.2	ΔR=1.6	ΔR <sub>1</sub> =1.7	ΔR <sub>2</sub> =2.3		ΔR=1.1	ΔR=1.3
接線角/道路交角	τ/θ=0.250	τ/θ=0.250	τ <sub>1</sub> /θ=0.232	τ <sub>2</sub> /θ=0.268	τ <sub>1</sub> /θ+τ <sub>2</sub> /θ=0.500	τ/θ=0.250	τ/θ=0.500
曲 線 長 の 比	LC/L=1.00	LC/L=1.00	L <sub>1</sub> : LC: L <sub>2</sub> =1: 1.08: 1.16			LC/L=1.00	LC/L=0

注) 非対称円-クロソイド ( $C=K$ ) は、第1回試算の結果を示す。

表 5.8 実施設計図に示すトラバース

I.P	1	2	3	4	5	6	7	計
道路交角	$-38^{\circ}46'20''^*$	$+61^{\circ}28'00''$	$-76^{\circ}36'00''$	$+85^{\circ}19'36''$	$-56^{\circ}36'00''$	$+30^{\circ}42'00''$	$-24^{\circ}36'20''^*$	
測線長	216.380*	186.360	212.329	203.057	145.210	316.240*	1279.576	
接線長	63.141*	85.795	85.795	100.565	100.565	111.763	115.692	87.365
直線区間長	67.444*	0	0.001	0	0	164.132*	231.577	
曲線長		158.835	177.312	193.422	163.791	113.730	807.090	
平面線形	$(S)=(C-K)+(C-K)$			$(C=K)$	$(S)=(C-K)+(K)$			

注1) \*印は、改良済区間の状況によってきまる値である。

2) 道路交角の符号は、起点から終点に向かって測線が右に折れるときは+、左に折れるときは-である。

3) 改良工事の起点から終点にいたる道路中心線の長さは1038.667m である。

表 5.9 実施設計図に示す平面線形

I. P	2	3	4			5	6
平 面 線 形	(C-K)	(C-K)	(C-K) <sub>1</sub>	(C-K) <sub>2</sub>	(C=K)	(C-K)	(K)
道 路 交 角 ( $\theta$ )	$\theta=61^{\circ}28'00''$ ( $\theta=1.072796$ )	$\theta=76^{\circ}36'00''$ ( $\theta=1.336922$ )	$\theta=85^{\circ}19'36''$ ( $\theta=1.489231$ )			$\theta=56^{\circ}36'00''$ ( $\theta=0.987856$ )	$\theta=30^{\circ}42'00''$ ( $\theta=0.535816$ )
接 線 角 ( $l$ ), 回 転 角	$\tau=15^{\circ}22'00''$ ( $l=0.732392$ )	$\tau=19^{\circ}09'00''$ ( $l=0.817595$ )	$\tau_1=19^{\circ}48'27''$ ( $l_1=0.831512$ )	$\tau_2=22^{\circ}51'21''$ ( $l_2=0.893207$ )	$\delta=16'35''$	$\tau=14^{\circ}09'00''$ ( $l=0.702800$ )	$\tau=15^{\circ}21'00''$ ( $l=0.731995$ )
外 線 長	$G=17.501$	$G=26.338$	$G_1=33.498$	$G_2=34.268$	$\Delta G=0.770$	$G=33.884$	$G=16.279$
パラメーター, 外 線長	$A=72.290$	$A=72.290$	$A_1=71.998$	$A_2=77.340$	$(G_1+G_2)/2=33.883$	$A=77.685$	$A=77.685$
半 径, 接 線 長	$R=98.704$	$R=88.418$	$R=86.587$			$\Delta D=0.568$	$R=110.537$
接 線 長	$D=85.795$	$D=100.565$	$D_1=111.195$	$D_2=116.260$	$\bar{D}_1=111.763$	$\bar{D}_2=115.692$	$D=87.365$
ク ロ ソ イ ド 長	$L=52.945$	$L=59.104$	$L_1=59.867$	$L_2=69.081$	$L_1+L_2=128.948$	$L=54.597$	$L=56.865$
単 曲 線 長	$LC=52.945$	$LC=59.104$	$LC_1=69.081$	$LC_2=59.867$	$LC=64.474$	$LC=54.597$	$LC=0$
曲 線 長	$CL=158.834$	$CL=177.312$	$CL_1=188.815$	$CL_2=198.029$	$CL=193.422$	$CL=163.792$	$CL=113.730$
移 程 量	$\Delta R=1.180$	$\Delta R=1.640$	$\Delta R_1=1.717$	$\Delta R_2=2.283$		$\Delta R=1.121$	$\Delta R=1.266$
接線角/道路交角	$\tau/\theta=0.250000$	$\tau/\theta=0.250000$	$\tau_1/\theta=0.232137$	$\tau_2/\theta=0.267863$	$\tau_1/\theta+\tau_2/\theta=0.500000$	$\tau/\theta=0.250000$	$\tau/\theta=0.500000$
曲 線 長 の 比	$LC/L=1.000000$	$LC/L=1.000000$	$L_1:LC:L_2=1:1.076954:1.153908$			$LC/L=1.000000$	$LC/L=0$

図 5.6, 表 5.6, 5.7 および表 5.8, 5.9 は, 以上の手順で道路路線の形状を求めた選定例である。これらについて述べよう。

イ) 両側から測点 I. P<sub>1</sub> と I. P<sub>2</sub> における平面線形の区間までは改良済みであり, 道路路線の形状的な選定をする区間は, 改良工事の起点から終点にいたる区間としている。

ロ) 図 5.6, 表 5.6, 5.7 はペーパーロケーションを示す。ペーパーロケーションは, 一般に 3 ~ 4 回の試算の結果得られる。

ハ) 表 5.8, 5.9 は, 現地で測量されたトラバースとこのトラバースに対する道路路線の形状を示す。これらは実施設計図の平面図に示す。

ニ) 表 5.6, 5.7 と表 5.8, 5.9 に示した道路路線の形状は, まず I. P<sub>2</sub>, I. P<sub>3</sub> と I. P<sub>5</sub>, I. P<sub>6</sub> に対応する S 形を求め, そして, 残された I. P<sub>4</sub> に対応する (C=K) を内挿法で求めた計算の結果を示す。

ホ) クロソイドを現地に設置するときに必要な他の諸要素は, 表 5.9 に示した  $l$  と  $A$  を用いて単位クロソイド表から求める。

## 5.6 (C-K) の従来の解法<sup>1)</sup>

3 つの計算条件  $\theta$ ,  $D$ ,  $A$  を与えて (C-K) を求める従来の計算法は, 次のようである。

イ)  $\theta$ ,  $A$ ,  $R_1$  から  $D_1$  を求める。ここに,  $R_1$  は厳密解  $R$  の第 1 近似値である。

ロ)  $D_1$  が  $D$  より大きい (小さい) ときは,  $R_1$  より小さい (大きい)  $R_2$  から  $D_2$  を求める。ここに  $R_2$  は  $R$  の第 2 近似値である。

ハ)  $D_1, D_2$  と  $R_1, R_2$  および  $D$  を用いた内挿法で  $R_3$  を求める. ここに,  $R_3$  は  $R$  の第 3 近似値である.

ニ) イ) ~ ハ) の試算を, 一般に,  $2n+1$  回繰り返すと, 式  $R_{2n+1} = R$  が成立する. この  $R_{2n+1}$  を厳密解とする. なお,  $R$  の近似解  $R_n$  を用いて,  $(C-K)$  を求めることもできる.

## 5.7 従来解法との比較

本章の 5.2 に示した  $(C=K)$  の解法 (内挿法) と 5.3 に示した  $(C-K)$  の解法  $B$  と従来解法  $A$  を比較しよう.

### 5.7.1 $(C=K)$ の解法

道路交角  $\theta$  と 2 つの接線長を計算条件とした計算例, または, 本論文に提案した望ましい  $(C=K)$ , すなわち, 3 つの曲線長を等差級数とする計算例の事例はない.

### 5.7.2 $(C-K)$ の解法

解法  $B$  の解法  $A$  に対する長所は, 次のようである.

イ)  $B$  は, 直接法である.  $A$  は, 試算法である. したがって,  $B$  の計算法は,  $A$  の計算法より簡素化されている.

ロ)  $B$  は, 計算条件からただちに曲線長の比率  $LC/L$  が得られる.  $A$  は, 計算の結果によって始めて  $LC/L$  が得られる. したがって,  $B$  は, 曲線長を制御できる方法である.  $A$  は, 困難である.

## 5.8 結 語

本論文に提案した新しい解法の概要は, 次のようである.

- イ)  $(C=K)$  の解法 (第 2 章)
- ロ) 補助測線を用いた  $(C-K)$  の解法 (第 2 章)
- ハ) S 形の解法 (第 3 章)
- ニ) U 形の解法 (第 4 章)
- ホ)  $(C=K)$  の解法 (第 5 章)
- ヘ)  $(C-K)$  の解法 (第 5 章)

これらの解法を用いると, 特殊な計算条件が与えられる場合を除き, 一般の道路線の形状的な選定に十分対応できる. これらの解法と従来解法を比較しよう.

イ) 曲線長の制御: これらの解法によると, この種の研究における現在の課題, すなわち, 交通の安全性, ならびに, 快適性と密接な関係にあるとされている曲線長の制御が可能である. 一方, ドイツで開発された円固定法によると, 曲線長の制御は極めて困難である.

曲線長の制御が可能である解法とは, 曲線長の比率を計算条件に組み込むことができる解法, または, 曲線長の計算結果を待たずに曲線長の比率が得られる解法である. 曲線長の制御が極めて困難で

ある解法とは、曲線長の計算結果を待たなければ曲線長の比率が得られない解法である。

ロ) 計算法の可能化：従来I.P法では、道路路線の形状的な選定における基本的な解法であるS形の解法(第3章)、 $\bar{U}$ 形の解法(第4章)、 $(C=K)$ の解法(第5章)は、計算不可能であるとされていた。これは、I.P法が、この種の研究における垂流であり、主流でありえなかった最大の理由である。

ハ) 計算法の簡素化：これらの解法における計算法は、すべて直接法である。ドイツで開発された解法(円固定法)は、試算法が多い。これらの解法における計算法は、卓上計算機、または、電子計算機を用いる場合、共に従来の円固定法の計算法より極めて簡素化されている。

### 参 考 文 献

- 1) Horst Osterloh, Strassenplanung mit Klothoiden, Bauverlag, 1958, pp. 37 ~ 41.
- 2) 岡崎, 道路中心線の設計法, 山海堂, 1979

## 第6章 結 論

以上著者は、道路建設において、もっとも基本となる道路路線の形状的な選定法について、現在の課題であるとされている事項に関するいくつかの研究を行ない、本論文において、それらを系統的に論じてきた。ここに、その研究成果を要約して結論としたい。第1章の序論では、本研究の目的、研究をするための手段（道具）、そして、研究の方法について述べた。第2章は、基礎的な理論、第3章～第5章はその応用である。各章ごとにこれらの研究の成果について述べよう。

第1章は、本研究の目的、手段（道具）と方法である。まず、本研究の目的について述べよう。道路路線における曲線部の形状は、2つの線形要素（単曲線とクロソイド）のいくつかの組合せによって決まる。そして、組み合わせられたいくつかの線形要素の曲線長の比率と道路交通の安全性、ならびに、快適性は密接な関係があるとされている。しかし、従来の研究の成果によると、これらの曲線長の比率を制御することは極めて困難であり、この問題を解決することは現在の課題であるとされている。本研究の目的は、この課題に対して、説得力のある回答を求めることである。

研究の手段（道具）について述べよう。近代文明は、人類が目に見える世界において、道具を用いることによって成立していること、人類は考える世界、すなわち、目に見えない世界を持つ動物であること、および、目に見えない世界と見える世界との間に密接な関係があることは衆知の事実である。したがって、本研究では、目に見える世界において道具を使うのであれば、目に見えない世界においても道具を使うという方法を用いた。第1章で述べた自由度と計算条件を求める方法は、本論文のすべてに渉る研究手段であり、道具である。これらの研究の道具なくして本研究は成立していない。従来、たとえば、自由度4の平面線形を4つの計算条件から求める解法はある。しかし、平面線形の自由度を求め、そして、計算条件を求める方法について述べたこの種の文献はない。この研究の道具は、目に見えない考える世界において、最も一般的な道具の1つであるとされている帰納法を用いて、著者が開発したものである。

研究の方法について述べよう。いかに望ましい研究の目的と手段（道具）を持っても、研究の方法を誤ると望ましい研究の成果を期待することはできない。この種の研究における最もオーソドックスな研究の方法は、自動車の走行軌跡の解析と解析した走行軌跡のうちから、道路路線の形状として望ましい走行軌跡を理論的、ならびに、実験的な方法を用いて選定することである。現在、自動車の走行上最も理想的な緩和曲線であるとされているクロソイドは、1880年、E. Holbrookによって、このような研究方法の結果、開発された曲線である。

著者は本論文の作成にあたって、日本、ドイツおよびスイスの文献を参考にさせていただいた。そして、この種の研究成果のほとんど100%はドイツにおいて開発されていることを見出した。ドイツにおける研究の方法は、固定されたいくつかの円相互間をクロソイドで結ぶことによって、単曲線（円弧）とクロソイドから成立する道路路線の形状を選定するという方法である。要するに、この研究方法では、道路路線が主であり、自動車の走行軌跡は従である。したがって、道路路線の形状的な選定



法としてはランダムな研究方法であるといえよう。この研究方法によると、道路交通の安全性、ならびに、快適性と密接な関係があるとされている曲線長の比率を、計算条件に組み込むことができない。曲線長の比率は、計算の結果得られることとなっている。ここに、ドイツにおける研究方法による研究成果の限界がある。著者が本論文に提案した研究方法によると曲線長の比率を計算条件に組み込むことができる。従来、制御できる線形要素の数は3であった。本論文では、4～7つの線形要素の曲線長を制御している。

具体的にドイツの研究方法与本論文の研究方法について述べよう。写真1.1（P.3参照）に示した自在定規を用いて、縮尺1/500～1/1000の平面図の上に、概略の道路路線の形状を描くことができる。描かれた道路路線には、いくつかの円と道路トラバースが対応する。ドイツの方法は、固定されたいくつかの円を基本として、これらの円相互間をクロソイドで結ぶ方法であり、一般に円固定法と呼ばれている。本論文の方法は、道路トラバースを基本として、道路トラバース相互間を単曲線とクロソイドで結ぶという方法であり、一般にI.P法と呼ばれている。

第2章は、本研究における基礎理論である。自動車が任意の角度 $\theta$ だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡を解析し、それらのうちから、次のように望ましい走行軌跡を道路路線の形状として選定するとともに、その解法を示した。

イ) 3つの線形要素（2つのクロソイドと1つの単曲線）から成立する対称形の線形では、単曲線長のクロソイド長に対する比率は、2.0以内とすること。そして、3つの曲線長を同一とする線形が最も望ましいことを示した。なお、これらは従来から一般にいわれていることである。

ロ) 非対称形の線形では、3つの曲線長の比率は1:1.5:2.0以内とすること、3つの曲線長は等差級数とすること、そして、それらの比率は1:1:1に近い程望ましいことを提案した。そして、次のような公式を提案した。

イ) 単曲線とクロソイドに共通する公式であること。

ロ) 自動車が任意の角度 $\theta$ だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡を表現できる公式であること。

この公式は、帰納法と弁証法を用いて開発したものである。

自動車が任意の角度 $\theta$ だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡は、二等辺直角三角柱上の点に対応し、7種類に分類できること。そして、その単位平面線形は、二等辺直角三角柱上の点と1対1の対応を示すことを示した。

従来、本章に示した研究については、相当のアプローチがなされている。しかし、自動車が任意の角度 $\theta$ だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡を掌握するに至っていない。

第3章は、第2章の応用（その1）である。自動車が連続して2回異方向に任意の角度 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ だけ方向転換をするときのすべての走行軌跡（49種類のS形）を解析し、それらのうちから、次のような望ましいS形を選定するとともに、その解法を示した。

イ)  $1 \leq \theta_2/\theta_1 \leq \sqrt{2} \approx 1.41$ では、2つのクロソイド、または、3つの線形要素（2つのクロソイドと1つの単曲線）から成立する2つの線形のS形を選定すること。

ロ)  $\sqrt{2} \leq \theta_2/\theta_1$ では,  $\theta_1$ 側に2つのクロソイドから成立する線形の, そして,  $\theta_2$ 側に3つの線形要素から成立する線形のS形を選定すること.

ハ) 3つの線形要素から成立する2つの線形のS形では, 3つの曲線長をそれぞれ同一とするS形が最も望ましいこと.

ニ) S形における4つのクロソイドの大きさはすべて同一とすること.

そして, さらに, 次のような方法を提案した.

イ) S形における4~6つの線形要素の曲線長の比率を任意の値に制御する解法.

ロ) S形における諸要素の比率を7つの変数の関数として示す方法.

なお, 文献1)のP.117に, I.P法では, S形の計算は不可能であると書かれている.

第4章は, 第2章の応用(その2)である. 自動車が連続して同方向に任意の角度 $\theta_1$ ,  $\theta_2$ だけ方向転換をするときの $\bar{C}$ 形の道路路線の形状は, 自動車の走行軌跡と一致しないといわれている. ここにおいて, 6つの線形要素から成立する $\bar{C}$ 形の線形に代えて7つの線形要素から成立する $\bar{U}$ 形(二重の卵形)の線形を提案し, そして,  $\bar{U}$ 形の線形のうちに, 7つの線形要素の曲線長をほぼ一定とする線形が最も望ましい線形であることを提案するとともに, その解法を示した.

なお, 文献1)のP.117に, I.P法では, 卵形の計算は不可能であると書かれている.

第5章は, 第2章の応用(その3)である. 一般に,  $n$ 個の測線から成立する道路トラバースに対して, 道路路線の形状を選定する解法を提案した. すなわち,

イ) まず, 与えられた道路トラバースに対して, 第3章のS形, または, 第4章の $\bar{U}$ 形を, これらの線形の間に1つのI.Pを残すという方法で順次設置する.

ロ) 残されたI.Pには, 3つの曲線長を等差級数とする非対称形を設置する. 非対称形における3つの曲線長の比率の限界は1:1.5:2.0とする.

ハ) 残されたI.Pに設置する非対称形の曲線長の比率が1:1.5:2.0を越えるときは, 残されたI.Pにおける短い接線長の側に設置されているS形, または,  $\bar{U}$ 形の性質を用いた片押し方で, 対称形を設置する. そして, 残された2つの接線長の差に相当する直線区間を残す.

以上, 第3章~第5章に述べた方法を用いて, 道路路線の形状的な選定をすると, 特殊な事例を除き, 従来の方法に比べると, より望ましい道路路線の形状的な選定を比較的容易にすることができる. 計算法は, 次の2つである.

イ) 数表1, 2およびK表を用いて, 卓上計算機で求める.

ロ) 本論文に示した公式と計算法を用いて電子計算機で求める.

以上, 道路路線の形状的な新しい選定法を示すとともに, 現在の課題であるとされている事項, すなわち, 道路路線の形状をきめる線形要素の曲線長を制御するいくつかの方法を提案した. 従来ドイツにおけるこの種の研究の主流は円固定法であり, I.P法は, ほとんど研究の対象となっていなかった. 本論文は, 研究の主流とされている方法によって提起された課題を研究の垂流とされていた方法によって解決する方向を示した論文であるといえよう.

以上に提案した道路路線の形状的な選定法は, ただちに実用に供することができる. 高知県では道

路の建設に採用している。しかし、これらの選定法は、I. P 法における初歩的な比較的硬い方法であるように思われる。たとえば、S 形についても、その選定法を定めて実用に供しているのは対称形である。非対称形の線形から成立する S 形について、S 形を構成する 4 ～ 6 つの線形要素の曲線長を任意の比率に制御する方法は示している。しかし、この方法を応用して実用に供しているのは  $\bar{U}$  形だけである。非対称形の線形から成立する S 形の選定法をきめること、および、非対称形の S 形を採用することによって、もっと軟らかい道路路線の全搬にわたって流れるような道路路線の形状の選定法を確立すること。これらは今後に残された課題である。

### 参 考 文 献

- 1) 星 埜，クロソイドポケットブック改訂版，日本道路協会，1977

### 謝

### 辞

本論文は、過去 20 年間にわたる研究の成果をとりまとめたものである。この間、指導教授として、終始懇切な御指導と御鞭撻をいただいた京都大学工学部教授工学博士松尾新一郎先生に対し衷心より感謝の意を表する次第である。また、数表、計算図の作成、計算例の照査にあたって、高知電子計算センター株式会社の岡崎昭介、山本正明両氏の御尽力をいただいた。ここに、謝意を表したい。